

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Отделение автоматизации и робототехники

Направление подготовки (специальность): 27.04.01 Стандартизация и метрология

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Моделирование и улучшение метрологических характеристик генератора сигналов «Габарит ГЗ»

УДК 519.876:621.373.1.029.4:53.08

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ю.В. Никулина		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Ю.К. Рыбин	д.т.н., профессор		
Руководитель ООП	А.И. Заревич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Н.В. Шаповалова			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	И.И. Авдеева			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	С.В. Леонов	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01

«Стандартизация и метрология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОК-12, 13, 15, 16, 19; ПК- 17, 18, 19, 21, 22, 26). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-3, 4, 8, 12, 23, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий	Требования ФГОС (ОК-17, 19; ПК- 1, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17, 18, 21, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-3, 9, 15, ПК-2, 5, 11, 12, 13, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P5	Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводит анализ затрат на	Требования ФГОС (ОК-8, 9, 18, ПК-10, 25). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений	международных стандартов EURACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3, 18, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-1, 13, 14, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6, 7). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Отделение автоматизации и робототехники
 Направление подготовки (специальность): 27.04.01 Стандартизация и метрология

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Никулиной Юлии Викторовне

Тема работы:

Моделирование и улучшение метрологических характеристик генератора сигналов «Габарит ГЗ»

Утверждена приказом директора (дата, номер) № 3610/с от 21.05.2018 г.

Сроки сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

1 Техническое задание на генератор сигналов низкочастотный прецизионный «Габарит ГЗ» ;
 2 ГОСТ 8.314-78 Государственная система обеспечения единства измерений. Генераторы низкочастотные измерительные. Методы и средства поверки.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

- моделирование цифровых устройств;
 - устройство и работа генератора сигналов «Габарит ГЗ»;
 - создание компьютерной модели генератора сигналов «Габарит ГЗ»;
 - исследование метрологических характеристик компьютерной модели генератора сигналов «Габарит ГЗ»

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	И.И. Авдеева
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Н.В. Шаповалова
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранных языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Учена степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Ю.К. Рыбин	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ю.В. Никулина		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Никулиной Ю.В.

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – рабочая зона, оборудованная персональным компьютером. Область применения – создание виртуальной модели прибора с помощью программного пакета NI Multisim.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	Физические вредные факторы: - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - недостаточная освещенность рабочей зоны. Психофизические факторы: - статические физические перегрузки; - умственное перенапряжение; - монотонность труда. Физические опасные факторы: - поражение электрическим током; - короткое замыкание; - статическое электричество.
2. Экологическая безопасность:	Предполагаемые источники загрязнения окружающей среды: - неисправная компьютерная техника; - перегоревшие люминесцентные лампы.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможная чрезвычайная ситуация – пожар. Разработка мер по предупреждению ЧС. Разработка действий при

	возникновении ЧС и мер ликвидации ее последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Специальные правовые нормы трудового законодательства согласно Трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018 г.
-------------------------------------------------------------	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	И.И. Авдеева			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ю.В. Никулина		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Никулиной Ю.В.

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, ставки налоговых отчислений во внебюджетные фонды, районный коэффициент по г. Томску
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Потенциальные потребители результатов исследования. Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Цели и результаты исследования, планирование участников исследования.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Структура работ в рамках научного исследования. Составление линейного графика работ Составление календарного плана-графика проведения научного исследования. Определение бюджета научно-технического исследования.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2 Матрица SWOT
3 Календарный план-график

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018 г.
-------------------------------------------------------------	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Н.В. Шаповалова			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ю.В. Никулина		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность): 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Уровень образования
 Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.02.2016	Моделирование цифровых устройств	
19.02.2016	Моделирование генератора «Габарит ГЗ»	
09.03.2016	Результаты моделирования	
09.04.2018	Исследование метрологических характеристик компьютерной модели генератора сигналов «Габарит ГЗ»	
07.05.2018	Социальная ответственность	
14.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
21.05.2016	Оформление расчетно – пояснительной записки	
28.05.2018	Оформление графического материала	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Учена степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Ю.К. Рыбин	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Учена степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР	А.И. Заревич	к.т.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 104 страниц, 27 рисунка, 26 таблицы, 20 формул, 32 источников, 5 приложений.

Ключевые слова: моделирование, метрологические характеристики, генератор сигналов, прямой цифровой синтез, цифровые устройства.

Объектом исследования является компьютерная модель генератора сигналов «Габарит ГЗ».

Предмет исследования – улучшение метрологических характеристик генератора «Габарит ГЗ».

Целью работы является компьютерное моделирование генератора «Габарит ГЗ» для поиска конструктивных модернизаций опытно-конструкторского образца и улучшения его метрологических характеристик.

В процессе исследования проведен поиск и изучение программных пакетов моделирования цифровых устройств, изучены устройство и принцип работы генератора «Габарит ГЗ», создана компьютерная модель генератора «Габарит ГЗ» с предложенными конструкторскими изменениями и проведены измерения метрологических характеристик усовершенствованной модели генератора.

Результаты, приведенные в работе, могут быть использованы для дальнейшей модернизации опытно-конструкторского образца генератора «Габарит ГЗ» и способствовать его продвижению на рынок конкурентоспособных товаров и услуг.

Определения, обозначения и сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

метрологическая характеристика: Характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений.

нормируемые метрологические характеристики: Совокупность метрологических характеристик данного типа средства измерений, устанавливаемая нормативными документами на средства измерений.

средство измерений: Техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

2 ГОСТ 8.314-78 Государственная система обеспечения единства измерений. Генераторы низкочастотные измерительные. Методы и средства поверки.

3 ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

4 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

DDS (Direct Digital Synthesis) – прямой цифровой синтез;

EWB – Electronics Workbench;

КОП – канал общего пользования;

ПЗУ – постоянное запоминающее устройство;

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

СИ – средство измерений;

НИР – научно-исследовательская работа;

НТИ – научно-техническое исследование;

НР – научный руководитель;

С – студент.

Оглавление

	С.
Введение	16
1 Моделирование цифровых устройств	18
1.1 Программные пакеты электронного моделирования	18
1.2 Выбор программного пакета	27
2 Генератор сигналов «Габарит ГЗ»	28
2.1 Описание генератора «Габарит ГЗ»	28
2.2 Устройство и работа генератора «Габарит ГЗ»	31
2.3 Синтезатор сигналов прямого цифрового синтеза	31
3 Создание компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ»	37
3.1 Синтезатор прямого цифрового синтеза	37
3.2 Фильтр низших частот	40
3.3 Усилитель мощности	43
3.4 Выходной аттенюатор	45
3.5 Результаты моделирования	47
4 Исследование метрологических характеристик компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ»	48
4.1 Погрешность установки частоты	48
4.2 Погрешность установки выходного напряжения	50
4.3 Коэффициент гармоник выходного напряжения	52
4.4 Сравнение улучшений метрологических характеристик компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ»	53
5 Социальная ответственность	55
5.1 Профессиональная социальная безопасность	55
5.2 Экологическая безопасность	62
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	62
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64

5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	67
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
6.1 Предпроектный анализ	68
6.2 Планирование и управление научно-техническим проектом	72
6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	79
6.4 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	82
Заключение	83
Список использованных источников	84
Приложение А Схема компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ»	87
Приложение Б Результаты измерения погрешности частоты	88
Приложение В Результаты измерения погрешности установки выходного напряжения	90
Приложение Г Результаты измерения коэффициента гармоник	93
Приложение Д Раздел, выполненный на иностранном языке	96
CD-диск. Магистерская диссертация (файл VKR.pdf в формате PDF)	

Введение

Генераторы сигналов являются источниками сигналов, используемых в качестве воздействующих сигналов в ходе измерений параметров электронных устройств. Современные генераторы позволяют генерировать сигналы различной формы: синусоида или другая периодическая функция, сигналы произвольной формы.

Особое место среди генераторов занимают генераторы сигналов синусоидальной формы. Они применяются для исследования усилителей и фильтров электрических сигналов, в качестве источников напряжения для возбуждения датчиков физических величин и т.д. [1].

По устройству работы генераторы сигналов подразделяются на аналоговые и цифровые.

Цифровые генераторы сигналов обладают рядом достоинств: возможность генерировать сигналы различной формы, высокая точность выходных сигналов, простота реализации в интегральном исполнении.

В данной работе рассматривается низкочастотный генератор синусоидальных сигналов «Габарит ГЗ» (в дальнейшем – генератор «Габарит ГЗ»), который предназначен для замены генератора сигналов низкочастотного ГЗ-122. В генераторе реализован синтезатор сигналов на основе принципа прямого цифрового синтеза– Direct Digital Synthesis.

В настоящее время устройства прямого цифрового синтеза сигналов благодаря развитию микросхемотехники обеспечивают высочайшее качество генерируемых сигналов, а также представляют собой очень компактные устройства с низким энергопотреблением [2,3].

Объектом исследования является компьютерная модель генератора сигналов «Габарит ГЗ».

Предмет исследования – улучшение метрологических характеристик генератора «Габарит ГЗ».

Целью работы является компьютерное моделирование генератора «Габарит ГЗ» для поиска конструктивных модернизаций опытно-конструкторского образца и улучшения его метрологических характеристик.

Для реализации компьютерного моделирования генератора сигналов «Габарит ГЗ» существует множество программных пакетов для разработки и тестирования электрических схем. National Instruments Multisim наиболее известная программа для конструирования, проектирования и моделирования радиоэлектронных схем, которая сочетает в себе обширную базу моделей и компонентов мировых производителей.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- исследование особенностей моделирования цифровых генераторов сигналов;
- изучение устройства и принципа работы генератора «Габарит ГЗ»;
- выбор программной среды для разработки модели генератора «Габарит ГЗ»;
- создание модели генератора «Габарит ГЗ»;
- моделирование и отладка программы;
- анализ результатов моделирования генератора «Габарит ГЗ».

Результаты, приведенные в работе, могут быть использованы для дальнейшей модернизации опытно-конструкторского образца генератора «Габарит ГЗ» и способствовать его продвижению на рынок конкурентоспособных товаров и услуг.

1 Моделирование цифровых устройств

Цифровые устройства представляют собой сложную электронную систему, содержащую цифровые и аналоговые устройства.

Обычно под компьютерным моделированием понимается весь комплекс вопросов, связанных с составлением модели устройства и ее использованием в процедурах расчета, анализа и оптимизации [4, 5, 6].

Компьютерное моделирование является в настоящее время важнейшей составной частью процесса проектирования электронных устройств. Это объясняется следующими причинами:

- необходимостью сокращения сроков разработки новых электронных устройств;
- наличием эффективных алгоритмов и программ компьютерного моделирования электрических цепей;
- развитой теорией математического моделирования электронных компонентов.

1.1 Программные пакеты электронного моделирования

Современные программы моделирования электронных цепей представляют виртуальные лаборатории, включающие обширные библиотеки электронных компонентов. Они дают возможность инженеру проверить, удовлетворяет ли спроектированное устройство требованиям технического задания, когда используются реальные компоненты с характеристиками, отличающимися от идеальных. Многие программы позволяют автоматизировать все стадии проектирования электронных устройств, включая подготовку принципиальных схем, моделирование процессов в аналоговых и цифровых цепях, компоновку и трассировку печатных плат, редактирование и расширение библиотек компонентов.

Программы схемотехнического моделирования широко используются для автоматизации проектирования интегральных схем, поскольку физическое моделирование интегральных схем связано с большими материальными затратами

В настоящее время для моделирования цифровых устройств, в частности генераторов сигналов, существует множество программных пакетов, например: Electronics Workbench, CircuitMaker, NI Multisim, Proteus, OrCad, Micro-Cap и множество других программ. Следует различать программные пакеты, предназначенные для моделирования электронных схем и программные пакеты для проектирования печатных плат.

Для разработки модели генератора сигналов «Габарит ГЗ» необходимо подобрать наиболее оптимальную программную среду, которая содержит в себе обширную базу компонентов, обладает высокой точностью моделирования и широким спектром возможностей.

1.1.1 Программный пакет Electronic Workbench

Система схемотехнического моделирования Electronics Workbench (EWB) предназначена для моделирования и анализа электрических схем.

EWB может проводить анализ схем на постоянном и переменном токах. При анализе на постоянном токе определяется рабочая точка схемы в установившемся режиме работы. Результаты этого анализа не отражаются на приборах, а используются для дальнейшего анализа схемы. Анализ на переменном токе использует результаты анализа на постоянном токе для получения линеаризованных моделей нелинейных компонентов. Анализ схем в режиме переменного тока может проводиться как во временной, так и в частотной областях.

В EWB также можно исследовать переходные процессы при воздействии на схемы входных сигналов различной формы. Программа позволяет производить анализ цифро-аналоговых и цифровых схем большой

степени сложности. Имеющиеся в программе библиотеки включают в себя большой набор широко распространённых электронных компонентов. Есть возможность подключения и создания новых библиотек компонентов.

Широкий набор приборов позволяет производить измерения различных величин, задавать входные воздействия, строить графики. Все приборы изображаются в виде, максимально приближенном к реальному, поэтому работать с ними просто и удобно. Программа позволяет разместить схему таким образом, чтобы были чётко видны все соединения элементов и одновременно вся схема целиком.

Результаты моделирования можно вывести на принтер или импортировать в текстовый или графический редактор для их дальнейшей обработки.

Программа EWB совместима с программой P-SPICE, т.е. предоставляет возможность экспорта и импорта схем и результатов измерений в различные её версии.

Программа использует стандартный интерфейс Windows, что значительно облегчает её использование.

В библиотеки компонентов программы входят пассивные элементы, транзисторы, управляемые источники, управляемые ключи, гибридные элементы, индикаторы, логические элементы, триггерные устройства, цифровые и аналоговые элементы, специальные комбинационные и последовательные схемы. Активные элементы могут быть представлены моделями как идеальных, так и реальных элементов. Возможно также создание своих моделей элементов и добавление их в библиотеки элементов.

В программе используется большой набор приборов для проведения измерений: амперметр, вольтметр, осциллограф, мультиметр, Боде-плоттер (графопостроитель частотных характеристик схем), функциональный генератор, генератор слов, логический анализатор и логический преобразователь.

EWB позволяет строить схемы различной степени сложности при помощи следующих операций:

- выбор элементов и приборов из библиотек;
- перемещение элементов и схем в любое место рабочего поля;
- поворот элементов и групп элементов на углы, кратные 90° ;
- копирование, вставка или удаление элементов, групп элементов, фрагментов схем и целых схем;
- изменение цвета проводников;
- выделение цветом контуров схем для более удобного восприятия;
- одновременное подключение нескольких измерительных приборов и наблюдение их показаний на экране монитора;
- присваивание элементу условного обозначения;
- изменение параметров элементов в широком диапазоне [7].

1.1.2 Программный пакет Micro- Cap

Программа разработана фирмой Spectrum Software. Программа имеет удобный графический редактор, позволяющий создавать и редактировать принципиальные схемы аналоговых и цифровых устройств. Основные виды анализа:

- расчет статического режима по постоянному току;
- расчет частотных характеристик линеаризованной цепи;
- расчет реакции во временной области при произвольных входных воздействиях;
- анализ шумов и параметрической чувствительности;
- многовариантный анализ, включая статистический анализ методом Монте-Карло;

Программа имеет обширную библиотеку моделей компонентов ведущих фирм США, Европы и Японии.

1.1.2 Программный пакет Proteus

Proteus Design Suite — пакет программ для автоматизированного проектирования электронных схем. Разработка компании Labcenter Electronics (Великобритания).

Пакет представляет собой систему схемотехнического моделирования, базирующуюся на основе моделей электронных компонентов, принятых в PSpice. Отличительной чертой пакета Proteus является возможность моделирования работы программируемых устройств: микроконтроллеров, микропроцессоров и проч. Библиотека компонентов содержит справочные данные. Дополнительно в пакет Proteus включена система проектирования печатных плат.

Пакет Proteus состоит из двух частей, двух подпрограмм: ISIS — программа синтеза и моделирования непосредственно электронных схем и ARES — программа разработки печатных плат. Вместе с программой устанавливается набор демонстрационных проектов для ознакомления.

Proteus включает в себя более 6000 электронных компонентов со всеми справочными данными, а также демонстрационные ознакомительные проекты.

Программа имеет инструменты USBCONN и COMPIR, которые позволяют подключить виртуальное устройство к портам USB и COM компьютера. При подсоединении к этим портам любого внешнего прибора виртуальная схема будет работать с ним, как если бы она существовала в реальности. Proteus поддерживает следующие компиляторы: CodeVisionAVR и WinAVR, ICC, HiTECH и Keil .

1.1.4 Программный пакет OrCad

OrCAD Capture сочетает в себе интуитивный интерфейс с инструментарием и функциональностью, необходимыми для быстрого решения задач схемотехнического проектирования.

Для создания и редактирования больших и сложных проектов OrCAD Capture поддерживает мультистраничные и иерархические связи. Мощные средства проверки этих связей позволяют отслеживать возможные нарушения правил проектирования. OrCAD Capture тесно связан с редактором печатных плат PCB Editor и программой аналого-цифрового моделирования работы принципиальных схем.

Прямая и обратная связь OrCAD Capture с PCB Editor позволяет синхронизировать данные между принципиальной схемой и печатной платой через механизмы перекрестного выделения и размещения компонентов и автоматического внесения изменений в печатную плату по изменениям в схеме.

Система ведения баз данных электронных компонентов – центральная часть программных решений OrCAD Capture. Она автоматически синхронизирует и выверяет данные о компонентах во внешних базах данных и базе данных проекта. Опции реализуют интерфейс с любой базой данных, которая удовлетворяет стандарту Microsoft's ODBC. Благодаря быстрому доступу, удобной системе поиска и возможности вставки компонентов в проект непосредственно из внешней базы, значительно сокращается время разработки печатной платы. Поиск компонентов может осуществляться по их электрическим и физическим характеристикам, а также данным о производителе.

Добавление компонента непосредственно из базы данных производителя минимизирует количество возможных ошибок в спецификации и перечне элементов, а также позволяет проверять элементы на соответствие промышленным стандартам, таким как RoHS или WEEE.

1.1.5 Программный пакет CircuitMaker

Программный пакет предназначен для моделирования аналоговых, цифровых и аналого-цифровых устройств. Она имеет удобный графический интерфейс, позволяющий быстро подготовить электрические схемы

аналоговых и цифровых устройств. Результаты моделирования выводятся в графической форме, в виде осциллограмм и графиков частотных характеристик.

CircuitMaker обеспечивает графический ввод принципиальных схем и их моделирование, разработка печатных плат производится с помощью входящего в состав пакета программы TraxMaker или внешних программ PADS, P-CAD, Protel и др.

Редактор принципиальных схем обладает следующими особенностями:

- использование при создании схемы символов стандартных элементов и макромоделей нестандартных элементов, создаваемых пользователями;
- удобные средства для изменения параметров источников сигналов и других компонентов;
- наличие средства имитации неисправностей (короткое замыкание контактов, разрыв цепи, неверные номиналы компонентов и др.);
- списки соединений схемы составляются в форматах TraxMaker, Protel, Tango (используется в P-CAD для Windows) и OrCAD ;

Программа моделирования использует расширенную версию алгоритма SPICE 3F5 для моделирования аналоговых устройств и алгоритм XSPICE для моделирования аналого-цифровых устройств. При этом полностью поддерживаются встроенные модели и макромодели аналоговых компонентов в формате SPICE, разрабатываемые фирмами – производителями электронных компонентов и публикуемые в Интернете (для цифровых компонентов эта практика менее распространена).

CircuitMaker имеет встроенные модели полупроводниковых приборов электронных ламп, индикаторов, ключей, примитивов элементов цифровой логики, цифровых интегральных схем, аналоговых линейных интегральных схем, регуляторов напряжения, линий задержки, линий передачи, устройств выполнения математических операций, источников аналоговых и цифровых сигналов, виртуальных инструментов (осциллографов, измерителей частотных

характеристик, цифровых мультиметров, анализаторов логических сигналов). Библиотека моделей содержит модели 4000 компонентов.

CircuitMaker выполняет стандартные виды анализа: расчет режима нелинейных схем по постоянному току и передаточных характеристик в режиме по постоянному току, расчет частотных характеристик и переходных процессов, включая расчет спектров, выполняет одновременную вариацию двух параметров. Предусмотрена возможность отображения текущих результатов моделирования. Для аналоговых устройств рассчитываются токи, напряжение и другие характеристики, для цифровых – временные диаграммы логических состояний, имеется постпроцессор обработки результатов моделирования.

Редактор печатных плат имеет следующие особенности:

- печатные платы имеют до 8 электрических слоев (6 сигнальных и 2 слоя металлизации);
- поддерживается английская и метрическая система единиц;
- максимальный размер платы 32х32 дюйма;
- поддерживаются компоненты как со штыревыми, так и с планарными выводами;
- библиотека корпусов содержит 2000 компонентов;
- списки соединений схемы проекта загружаются в форматах TraxMaker, Protel, Tango , PADS и OrCAD ;
- наличие средства автоматического размещения компонентов и трассировки сеточного типа;
- создание Gerber -файлы в формате RS274 и управляющих файлов для сверлильных станков;
- создание отчетов о проекте и данных для оборудования автоматического монтажа компонентов.

1.1.6 Программный пакет Multisim

Программный пакет Multisim фирмы Electronics Workbench, который в настоящее время входит в корпорацию National Instruments позволяет строить и анализировать любые электронные схемы: аналоговые, цифро-аналоговые и цифровые. Программа Multisim достаточно легко осваивается и удобна в работе. Последние версии Multisim позволяют моделировать программируемые цифровые устройства на основе 8-разрядных микроконтроллеров с ядром MCS-51 и PIC-16 фирмы Microchip, поскольку в составе программного обеспечения имеются компиляторы с языка C и ассемблера [8].

NI Multisim позволяет объединить процессы разработки электронных устройств для интерактивного SPICE-моделирования и анализа электрических цепей, используемых в схемотехнике, проектировании печатных плат и комплексном тестировании на основе технологии виртуальных приборов для учебных и производственных целей. Эта платформа связывает процессы тестирования и проектирования, предоставляя разработчику электронного оборудования гибкие возможности технологии виртуальных приборов. При необходимости более сложного анализа Multisim предлагает более 15 различных функций анализа. Некоторые примеры включают использование переменного тока, анализ наиболее неблагоприятных условий и анализ Фурье. В Multisim входит Grapher – мощное средство просмотра и анализа данных эмуляции.

Совместное использование программного пакета для моделирования электрических цепей Multisim компании National Instruments со средой разработки измерительных систем LabVIEW, позволяет сравнивать теоретические данные с реальными непосредственно в процессе создания схем обычных печатных плат, что снижает количество проектных итераций, число ошибок в прототипах.

Можно использовать Multisim для интерактивного создания принципиальных электрических схем и моделирования их режимов работы.

Multisim составляет основу платформы для обучения электротехнике компании National Instruments, включающей в себя прототип рабочей станции NI ELVIS и NI LabVIEW.

База данных компонентов включает более 1200 SPICE-моделей элементов от ведущих производителей, таких как Analog Devices, Linear Technology и Texas Instruments, а также более 100 новых моделей импульсных источников питания. Помимо этого, в новой версии программного пакета появился помощник Convergence Assistant, который автоматически корректирует параметры SPICE, исправляя ошибки.

1.2 Выбор программного пакета

В Томском Политехническом университете активно используются продукты фирмы National Instruments, которые применяются в учебном процессе.

Поэтому для разработки компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ» выбран программный пакет NI Multisim.

Для реализации компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ» необходимо исследовать его устройство и принцип работы.

2 Генератор сигналов «Габарит ГЗ»

2.1 Описание генератора «Габарит ГЗ»

Как средство измерений генератор «Габарит ГЗ» является мерой, предназначенной для воспроизведения напряжения и частоты.

Внешний вид генератора представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Внешний вид генератора «Габарит ГЗ»

Генератор «Габарит ГЗ» служит источником синусоидальных сигналов с частотой в диапазоне от 0,001 Гц до 3 МГц с дискретностью установки частоты 0,001 Гц и выходным напряжением от 0,5 мВ до 5 В.

Согласно ГОСТ 8.009-84 [9] и ГОСТ 8.314-78 [10] нормируемыми метрологическими характеристиками генераторов сигналов низкочастотных являются:

- погрешность установки частоты;
- нестабильность частоты;
- нестабильность напряжения;
- погрешность установки выходного напряжения;
- коэффициент гармоник выходного напряжения.

Метрологические характеристики генератора «Габарит ГЗ», установленные техническим заданием, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Метрологические характеристики генератора «Габарит ГЗ», установленные техническим заданием.

Метрологические характеристики	Значение характеристики
Диапазон частот выходного сигнала	от 0,001 Гц до 3 МГц
Дискретность установки частоты выходного сигнала	0,001 Гц
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности установки частоты, не более	$\pm 5 \cdot 10^{-7} \cdot f_H$, где f_H - номинальное значение установленной частоты, Гц
Дополнительная абсолютная погрешность установки частоты, обусловленная изменением температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С в диапазоне рабочих температур, не более	$\pm 3 \cdot 10^{-8} \cdot f_H$
Нестабильность частоты генератора по истечении времени установления рабочего режима за любые 15 мин работы, не более	$\pm 5 \cdot 10^{-9} \cdot f_H$
Уровень выходного напряжения при подключении внешней нагрузки (50 ± 0,25) Ом	до 5 В на нагрузке (50 ± 0,25) Ом
Дискретность установки уровня выходного напряжения, не более	0,5 % от U_H , где U_H - уровень выходного напряжения
Пределы допускаемой основной относительной погрешности установки уровня выходного напряжения	$\pm (4 - 15) \%$
Дополнительная относительная погрешность установки уровня выходного напряжения, обусловленной изменением температуры окружающего воздуха на каждые 10° С в диапазоне рабочих температур, не более	$\pm 1 \%$
Нестабильность уровня выходного напряжения по истечении времени установления рабочего режима за каждые 3 ч, не более	$\pm 0,3 \%$
Коэффициент гармоник выходного сигнала генератора, не более	0,5 %

В таблице 2.2 представлено сравнение параметров генератора «Габарит» с такими аналогами, как: универсальный генератор стандартной и специальной форм AWG-4110 и генератор сигналов специальной формы АКИП-3409/2.

Таблица 2.2 – Результаты сравнения технических и метрологических характеристик цифровых генераторов

Параметры	Тип генератора		
	Габарит ГЗ	AWG-4110	АКИП-3409/2
Диапазон частот выходного синусоидального сигнала	0,001 Гц до 3 МГц	от 1 мкГц до 10 МГц	от 1 мкГц до 10 МГц
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки частоты выходного сигнала	не более $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ от f_n	$\pm 1 \cdot 10^{-4}$ от $f_{уст}$	$\pm 1 \cdot 10^{-4}$ от $f_{уст}$
Диапазон установки размаха напряжения U выходного сигнала на нагрузке 50 Ом	от 0,5 мВ до 5 В	от 2 мВ до 10 В (канал 1) от 2 мВ до 3 В (канал 2)	от 2 мВ до 10 В (канал 1); от 2 мВ до 3 В (канал 2)
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки размаха напряжения на частоте 1 кГц на нагрузке 50 Ом, В	не более $\pm(4-15) \%$	$\pm(0,03 \cdot U_{уст} + 1 \text{ мВ})$	$\pm(0,01 \cdot U_{уст} + 0,2 \text{ мВ})$
Неравномерность АЧХ синусоидального сигнала	0,3 %	0,1 дБ в диапазоне до 100 кГц; 0,15 дБ в диапазоне от 100 кГц до 5 МГц; 0,3 дБ в диапазоне от 5 МГц и более	0,15 дБ в диапазоне до 1 МГц; 0,3 дБ в диапазоне более 1 МГц
Уровень гармонических составляющих синусоидального сигнала относительно уровня несущей (дБн) в диапазоне частот	не более $\pm 0,5 \%$ до 3 МГц	суммарные искажения 0,5 % при частоте от 20 Гц до 200 кГц	≤ -70 дБн до 1 МГц; ≤ -70 дБн+дБ/октава от 1 МГц до 10 МГц
Примечание – В таблице используются следующие обозначения: f_n - номинальное значение установленной частоты, Гц; $f_{уст}$ - установленное значение частоты, Гц; $U_{уст}$ - установленное значение амплитуды, мВ.			

2.2 Устройство и работа генератора «Габарит ГЗ»

Структурная схема генератора, которая приведена на рисунке 2.2, включает следующие блоки: буквенно-цифровой дисплей, клавиатуру, микроконтроллер, синтезатор сигналов прямого цифрового синтеза (синтезатор DDS), фильтр низших частот, усилитель мощности, выходной аттенюатор и интерфейс канала общего пользования (КОП).

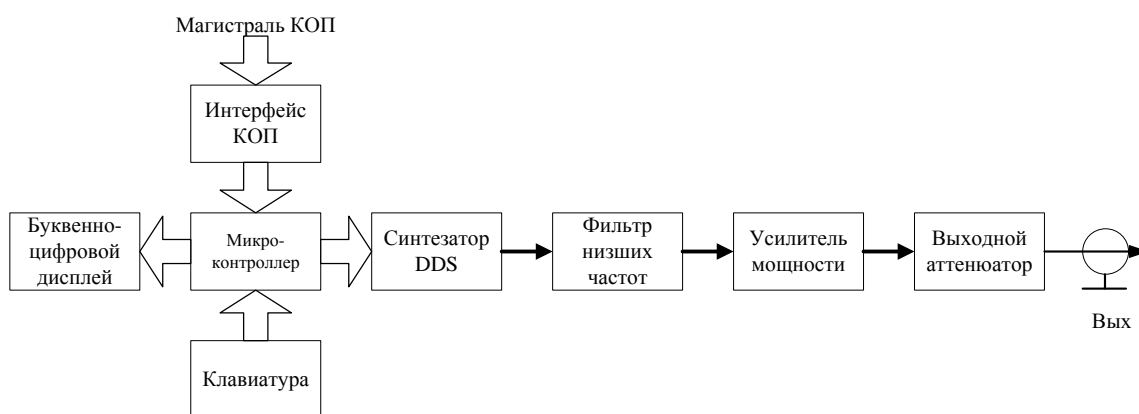


Рисунок 2.2 – Структурная схема генератора «Габарит ГЗ»

Управление генератором включает в себя клавиатуру для ввода параметров выходного сигнала, блока сопряжения с КОП, буквенно-цифрового дисплея для отражения значения установленных параметров выходного сигнала и устройства микропроцессорного управления, предназначенного для управления всеми узлами генератора.

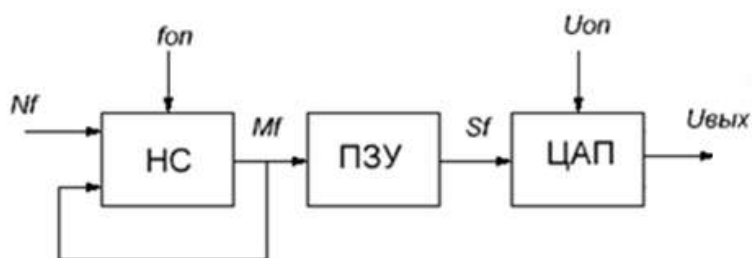
2.3 Синтезатор сигналов прямого цифрового синтеза

В генераторе «Габарит ГЗ» синтезатор сигналов на основе прямого цифрового синтеза реализован с помощью микросхемы AD9852.

Синтезатор сигналов состоит из накапливающего сумматора, постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), которое хранит значения

синусоидальной функции, цифро-аналогового преобразователя. На рисунке 2.3 представлена упрощенная структурная схема синтезатора сигналов.

В основу принципа формирования выходного напряжения в синтезаторе сигналов положен цифровой метод формирования синусоидального сигнала с заданной частотой. Цифровое двоичное слово Nf , определяющее значение частоты выходного сигнала, поступает на 48-ми разрядный накапливающий сумматор и с частотой $f_{оп}$ суммируется с накопленным в сумматоре к данному моменту цифровым словом. При этом значение кода в сумматоре Mf изменяется ступенчато на величину Nf . Поступая на блок ПЗУ, старшие разряды цифрового слова Mf с сумматора служат адресом числа, хранимого в соответствующей ячейке памяти. В ячейках памяти записаны значения функции синуса, поэтому на выходе ПЗУ с частотой $f_{оп}$ появляются цифровые слова, пропорциональные функции синус, которые в цифро-аналоговом преобразователе преобразуются в пропорциональные напряжения $U_{вых}$.



НС – накапливающий сумматор, ПЗУ – постоянное запоминающее устройство, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь,

ФНЧ – фильтр низших частот

Рисунок 2.3 – Структурная схема синтезатора прямого цифрового синтеза

На рисунке 2.4 показаны осциллограммы формирования синусоидального сигнала с помощью накапливающего сумматора, при соотношении $Nf/N_{max}=5/8$.

Кусочно-ступенчатой нарастающей линией на графике N показана последовательность изменения числа в регистре накапливающего сумматора, которое служит адресом для ПЗУ. В ячейке ПЗУ по выбранному адресу

хранится число Sf , пропорциональное будущему значению выходного напряжения цифро-аналогового преобразователя.

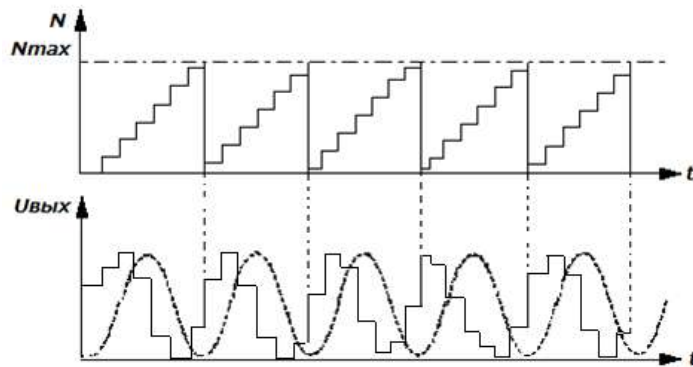


Рисунок 2.4 – Осциллограммы работы синтезатора на основе накапливающего сумматора

В результате на выходе цифро-аналогового преобразователя формируется напряжение ступенчатой формы со средней частотой, определяемой по формуле (1):

$$f_{\text{вых}} = f_{\text{оп}} \frac{N_f}{N_{\text{max}}}, \quad (2.1)$$

где $f_{\text{вых}}$ – выходная частота;

$f_{\text{оп}}$ – тактовая частота;

N_f – код частоты;

N_{max} – ёмкость накапливающего сумматора.

В генераторе «Габарит ГЗ» максимальная ёмкость накапливающего сумматора N_{max} равна 2^{48} , поэтому, зная значение тактовой частоты, формула (2.1) позволяет вычислить значение частоты выходного напряжения, а также и значение числа N_f для заданной частоты $f_{\text{вых}}$.

На графике $U_{\text{вых}}$ рисунка 2.4 показана осциллограмма напряжения $U_{\text{вых}}$, которая получается на выходе цифро-аналогового преобразователя. Длительность каждой ступеньки соответствует длительности периода опорного сигнала. При этом выходные напряжения цифро-аналогового преобразователя имеют постоянную составляющую равную 0,5 В. Эти напряжения далее поступают на фильтр низших частот.

В генераторе «Габарит ГЗ» синтезатор сигналов на основе прямого цифрового синтеза реализован с помощью микросхемы AD9852. В данной микросхеме используется 14-ти разрядное ПЗУ и 12-разрядный ЦАП.

В таблице 2.3 отображено сравнение известных микросхем DDS [11-21] по таким параметрам, как: разрядность накапливающего сумматора, разрядность ЦАП, максимальная частота выходного сигнала.

Таблица 2.3

Тип микросхемы	Разрядность накапливающего сумматора, бит	Разрядность ЦАП, бит	Разрядность ПЗУ, бит	Частота
AD9958	32	10	10	500 МГц
AD9837	28	10	12	16 МГц
AD5932	24	10	12	50 МГц
AD9957	32	14	14	1 ГГц
AD9956	48	14	14	400 МГц
AD9953	32	14	14	400 МГц
AD9834	28	10	12	75 МГц
AD9852	48	12	14	300 МГц
AD9856	12	12	12	200 МГц
AD9851	32	10	10	180 МГц
AD9830	32	10	12	50 МГц

Из таблицы 2.2 следует, что в микросхемах DDS преимущественно применяются ЦАП с разрядностью 10, 12, 14 бит и ПЗУ с разрядностью 10, 12, 14 бит.

Несмотря на то, что разрядность накапливающего сумматора (он же аккумулятор фазы) имеет типичную разрядность 32 или 48 бит, для адресации ПЗУ со значениями синуса используется только часть старших разрядов. Это связано с необходимостью уменьшения размеров памяти ПЗУ. Например, если бы каждый отсчет в ПЗУ при использовании всех 32 битов кодировался одним байтом, то необходимый объем памяти ПЗУ составил бы 4 Гб, что является затратной задачей.

Усечение кода фазы является внутренней операцией DDS и снаружи изменить ничего нельзя. Отбрасывание младших битов может привести к возникновению ошибки в представлении фазы. Как следствие, это приводит к

появлению погрешности амплитуды при преобразовании фазы в амплитуду, которое имеет место в DDS. Более того, эта погрешность является периодической, так как в зависимости от кода частоты чаще или реже состояния аккумулятора фазы повторяются. В результате в спектре выходного сигнала появляются отдельные составляющие, вызванные усечением кода фазы.

Частотное распределение составляющих, вызванных усечением кода фазы, не может быть так просто проанализировано, как их максимальная амплитуда. Рассматривая вопрос на качественном уровне, можно сказать, что усечение фазы приводит к появлению ошибки фазы, величина которой меняется по пилообразному закону. Сигнал ошибки появляется в результате отбрасывания битов кода фазы. Поэтому для того, чтобы вычислить частоту этого сигнала, можно рассмотреть только ту часть аккумулятора фазы, которая отбрасывается при усечении кода фазы [3].

На рисунке 2.5 приведены зависимости уровня побочных компонентов от разрядности кода фазы для ЦАП разной разрядности.

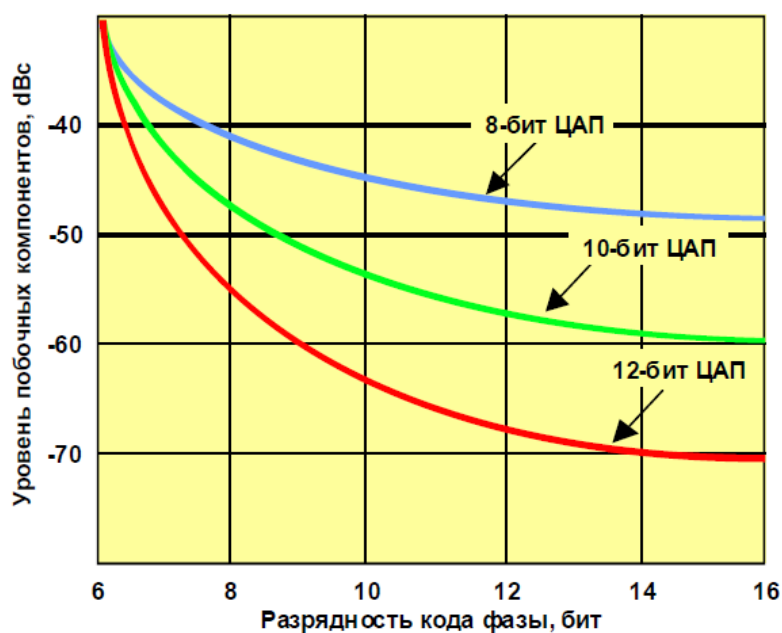


Рисунок 2.5 – Уровень побочных компонентов в зависимости от разрядности кода фазы

Снижение побочных компонентов происходит только до определенного значения, которое зависит от уровня шумов квантования ЦАП, поэтому нет необходимости в неограниченном наращивании разрядности кода фазы. На практике разрядность кода фазы следует подбирать на 2-3 разряда больше, чем разрядность используемого ЦАП [3].

Поэтому, в качестве схемотехнического усовершенствования генератора «Габарит ГЗ» предлагается создать компьютерную модель синтезатора сигнала на основе прямого цифрового синтеза с использованием 16-ти разрядного ПЗУ и 16-ти разрядного ЦАП.

3 Создание компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ»

3.1 Синтезатор прямого цифрового синтеза

3.1.1 Накапливающий сумматор

Для реализации 48-ми разрядного накапливающего сумматора использован 4-х разрядный сумматор 7483N и D-триггер 74175N путем последовательного переноса старших разрядов. Схема 4-х разрядного накапливающего сумматора представлена на рисунке 3.1. Последовательный перенос старших разрядов происходит по выходам *C0* и *C4* сумматора 7483N.

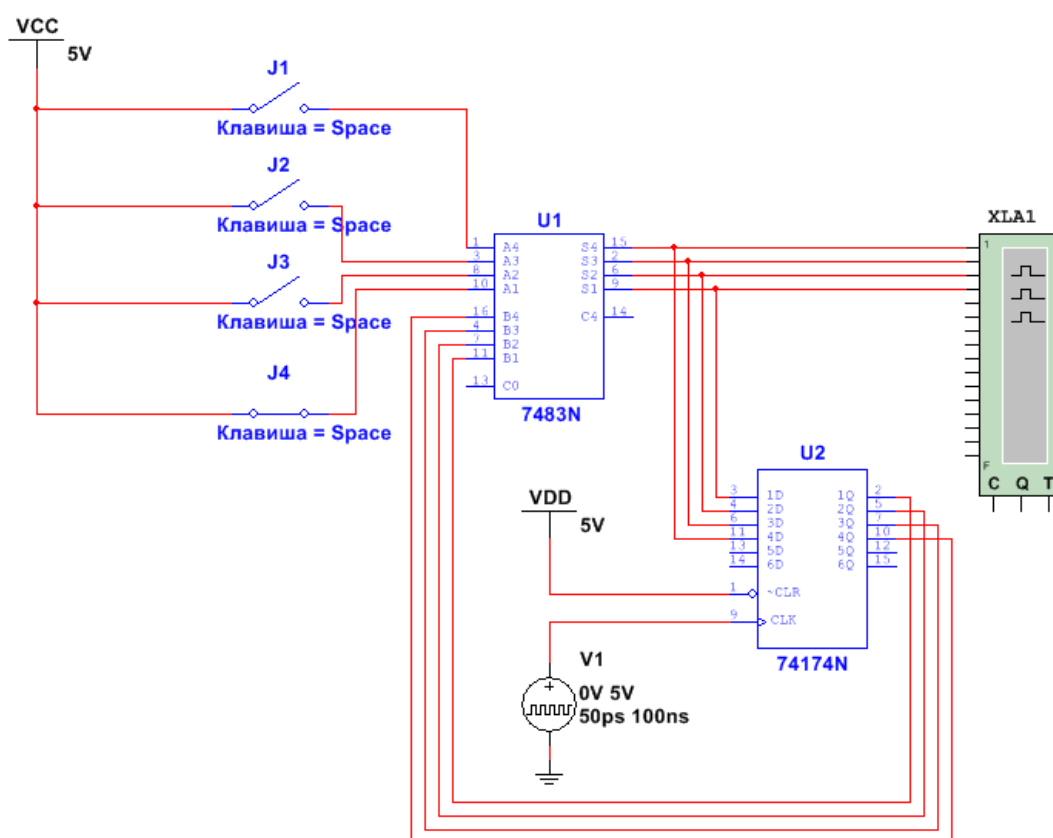


Рисунок 3.1 – Схема 4-х разрядного накапливающего сумматора

Технические характеристики 4-х разрядного сумматора 7483N [22] представлены в таблице 3.1. Технические характеристики D-триггера 74175N [23] представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Технические характеристики 4-х разрядного сумматора 7483N

Технические характеристики	Значение характеристики
Номинальное напряжение питания	$(5,00 \pm 0,05)\text{В}$
Выходное напряжение низкого уровня	не более 0,4 В
Выходное напряжение высокого уровня	не менее 2,4 В
Помехоустойчивость	не менее 0,4 В
Напряжение на антизвонном диоде	не менее -1,5 В
Входной пробивной ток	не более 1 мА
Ток короткого замыкания	от минус 18 до минус 55 мА
Ток потребления	не более 128 мА
Потребляемая статическая мощность	не более 670 мВт
Время задержки распространения	не более 55 нс
Время задержки распространения по цепи суммы	не более 37,5 нс
Время задержки распространения по цепи переноса	не более 40 нс

Таблица 3.2 – Технические характеристики D-триггера 74175N

Технические характеристики	Значение характеристики
Номинальное напряжение питания	$(5,00 \pm 0,05)\text{В}$
Выходное напряжение низкого уровня	не более 0,4 В
Выходное напряжение высокого уровня	не менее 2,4 В
Напряжение на антизвонном диоде	не менее -1,5 В
Входной ток низкого уровня	не более -1,6 мА
Входной ток высокого уровня	не более 0,04 мА
Входной пробивной ток	не более 1 мА
Ток короткого замыкания	от минус 18 до минус 57 мА
Ток потребления	не более 45 мА
Потребляемая статическая мощность	не более 236,25 мВт

2.1.2 Постоянное запоминающее устройство

В процессе обработки информации ПЗУ представляет собой память, работающую только в режиме считывания. Применение ПЗУ позволяет достичь большей плотности упаковки информации за счет упрощения запоминающихся элементов.

На рисунке 3.2 представлен процесс записи значений функции синуса в память ПЗУ.

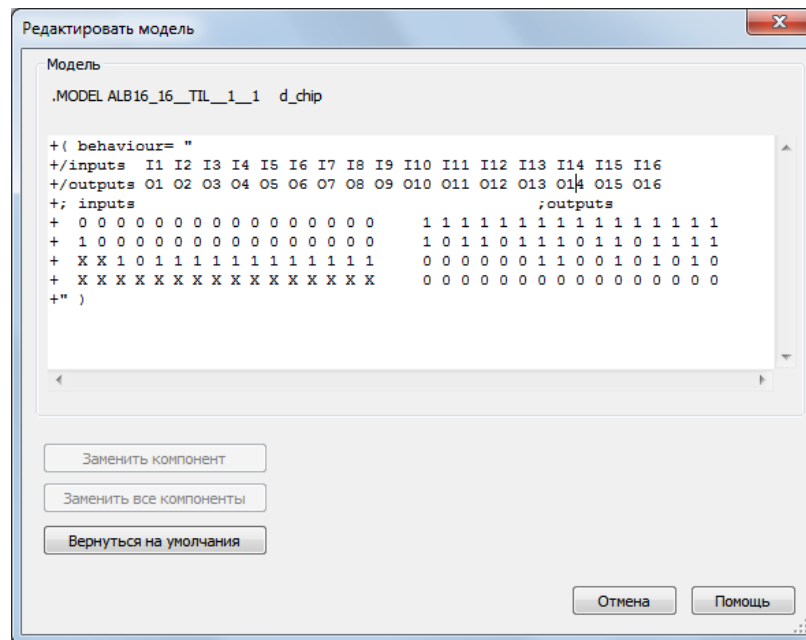


Рисунок 3.2 – Запись значений функции синуса в память ПЗУ

2.1.3 Цифро-аналоговый преобразователь

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) кода в напряжение выполняются в виде функциональных узлов. Такой функциональный узел преобразователь кода в напряжение, имеющийся в Multisim (рисунок 3.3.), имеет шестнадцать логических входов, на которые может быть подан шестнадцатиразрядный двоичный код. Максимальное значение кода, которое может быть преобразовано в напряжение, равно $2^{16} - 1 = 65535$, а значение единицы младшего разряда вычисляется по формуле (2.1):

$$U_0 = \frac{U_{ref}}{2^{16}}, \quad (2.1)$$

где U_{ref} – опорное напряжение (в данном случае 10 В).

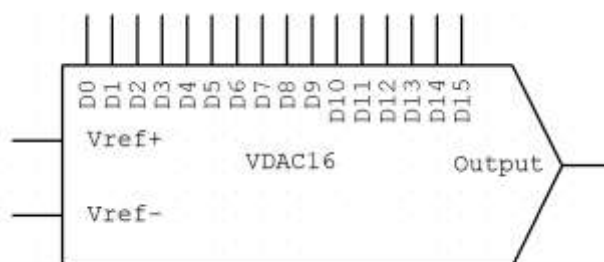


Рисунок 3.3 – 16-ти разрядный цифро-аналоговый преобразователь

ЦАП является единственным элементом устройства DDS, который обладает нестабильностями, свойственными аналоговым схемам [3].

С целью исключения влияния характеристик ЦАП, в программе NI Multisim данный элемент выбирается без присутствия дефектов т.е. (рисунок 3.4).

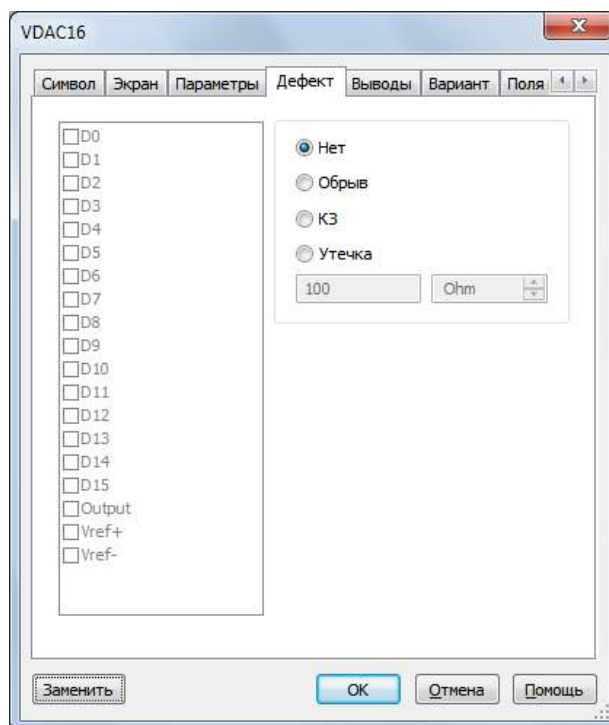


Рисунок 3.4

3.2 Фильтр низших частот

Фильтр низших частот (ФНЧ) используется для сглаживания ступенчатой формы напряжения с цифро-аналогового преобразователя, ослабления влияния составляющих с частотой опорного напряжения $f_{оп}$ и тем самым уменьшает влияние этих спектральных составляющих на форму выходного напряжения и её параметры.

С целью возможно большего ослабления фильтр низших частот имеет высокий порядок. В моделировании генератора «Габарит ГЗ» использован эллиптический фильтр шестого порядка с частотой среза 3 МГц и волновым сопротивлением 50 Ом.

Эллиптический фильтр отличается малой неравномерностью в полосе пропускания и высоким подавлением в полосе задерживания при работе в согласованном режиме. Согласованный режим предусматривает работу от источника с выходным сопротивлением 50 Ом на нагрузку с сопротивлением 50 Ом. Схема эллиптического фильтра с частотой среза 3 МГц с использованием индуктивностей и конденсаторов приведена на рисунке 3.5. Значения индуктивностей и конденсаторов подобраны из расчета наибольшего спада при частоте среза (таблица 3.3).

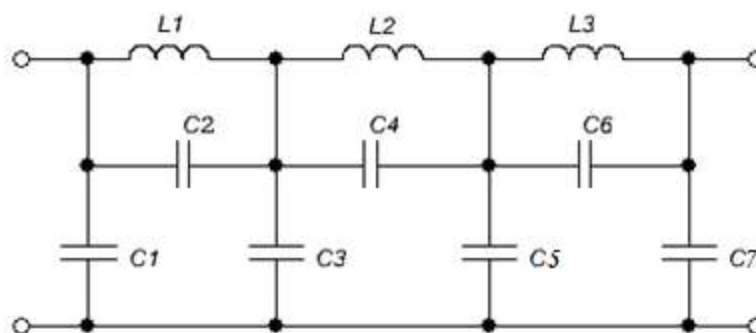


Рисунок 3.5 – Схема эллиптического фильтра

Таблица 3.3 – Номинальные значения индуктивностей и конденсаторов, использованных в схеме эллиптического фильтра

Обозначение элемента	Номинальное значение элемента схемы
$L1$	3,3мкГн
$L2$	3,3мкГн
$L3$	3,3мкГн
$C1$	806 пФ
$C2$	47 пФ
$C3$	1,6 нФ
$C4$	208,2 пФ
$C5$	1,6 нФ
$C6$	162,2 пФ
$C7$	702 пФ

С целью исключения влияния характеристик резисторов, в программе NI Multisim данные компоненты выбираются «идеальными», т.е. допуск у резисторов составляет 0 % (рисунок 3.6).

Рисунок 3.6

На рисунке 3.7 представлен график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) эллиптического фильтра.

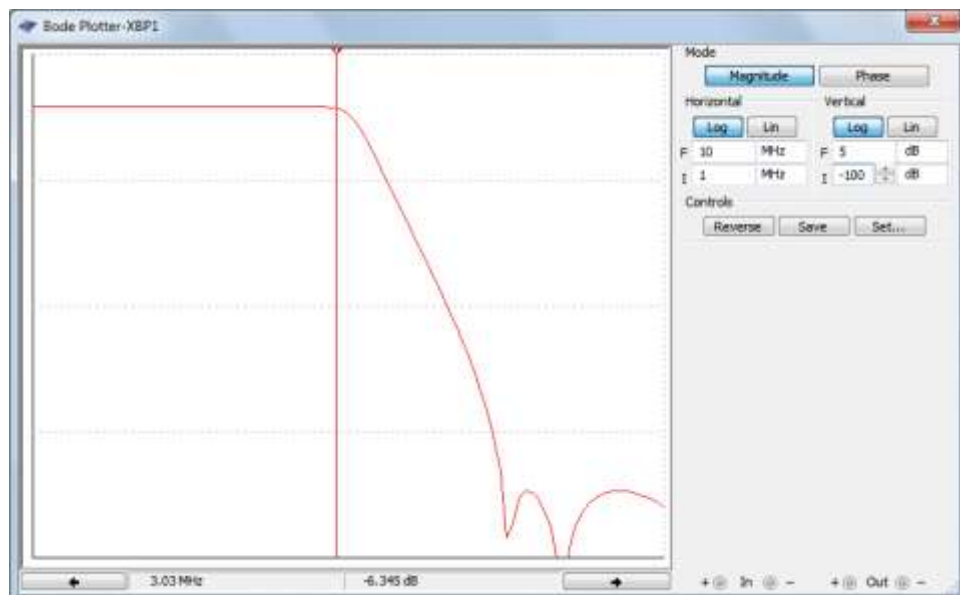


Рисунок 3.7 – АЧХ эллиптического фильтра

Из рисунка 3.6 следует, что вид АЧХ соответствует эллиптическому фильтру.

3.3 Усилитель мощности

Уровень выходного напряжения при подключении внешней нагрузки должен быть до 5 В среднеквадратического значения переменного напряжения на нагрузке $(50 \pm 0,25)$ Ом. Это означает, что при нагрузке $(50 \pm 0,25)$ Ом ток выходного усилителя генератора должен быть 100 мА. При этом выходная мощность составляет 1 Вт. Надо учесть, что амплитуда выходного напряжения при этом должна быть 14,14 В, а амплитуда выходного тока – 141,4 мА. Именно такие максимальные выходные параметры должно обеспечивать выходное устройство генератора во всём диапазоне частот.

Широкий диапазон частот от 0,001 Гц до 3 МГц вынуждает отказаться от трансформаторного выходного устройства, т. к. создать трансформатор на диапазон частот менее 20 Гц сложно из-за увеличения его габаритов и массы, а при частотах ниже 1 Гц это сделать практически невозможно. Поэтому в качестве выходного устройства целесообразно использовать бестрансформаторный усилитель мощности.

Схема усилителя мощности представлена на рисунке 3.8. Из основных требований, предъявляемых к рассматриваемому усилителю, следует назвать широкий диапазон частот, малые нелинейные искажения, малое напряжение смещения нуля и его дрейф с изменением температуры. Малые нелинейные искажения достигаются линеаризацией каскадов усиления, введением обратных связей.

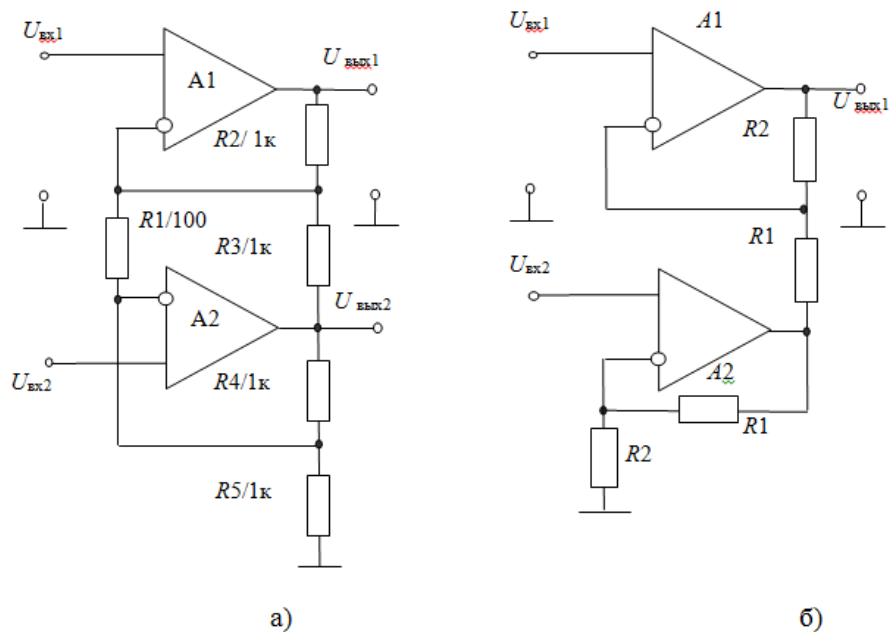


Рисунок 3.8 – Схемы выходных усилителей мощности на двух операционных усилителях

С целью исключения влияния характеристик операционного усилителя и резисторов, в программе NI Multisim данные компоненты выбираются «идеальными», т.е. допуск у резисторов составляет 0 %, дефекты у операционного усилителя отсутствуют (рисунок 3.9).

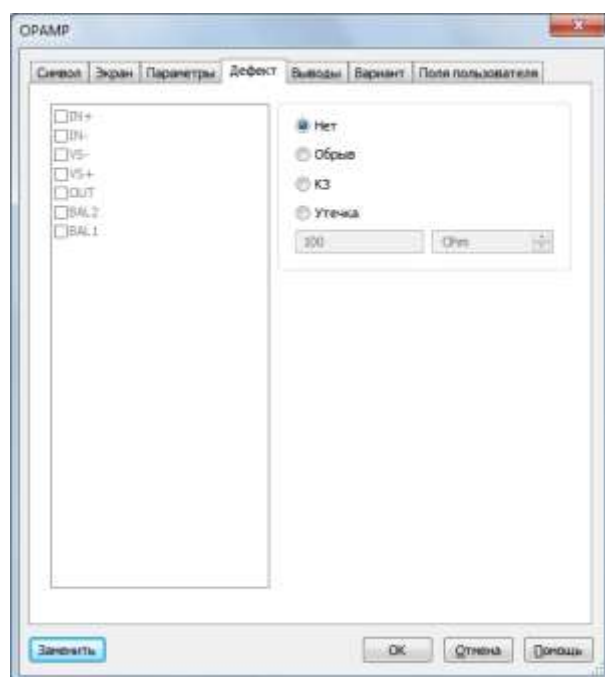


Рисунок 3.9

3.4 Выходной аттенюатор

Для получения выходных напряжений от 5000 до 0,5 мВ среднеквадратического значения используется выходной аттенюатор.

Блок – схема выходного аттенюатора показана рисунке 3.10. Аттенюатор содержит четыре П-образных секции с ослаблением 1:2 (Атт1), 1:4 (Атт2), 1:10 (Атт3) и 1:100 (Атт4), которые переключаются с помощью контактов $K_{i,j}$ электромагнитных реле. Контакты $K_{i,1}$ и $K_{i,2}$ i - го реле включают или выключают соответствующую секцию аттенюатора $Атт_i$.

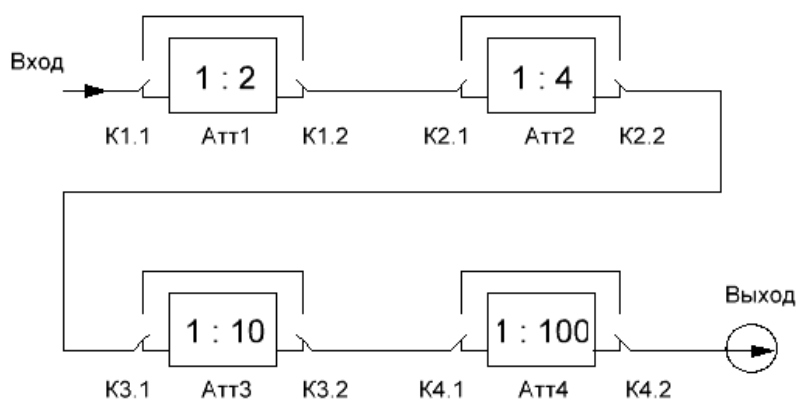


Рисунок 3.10 – Выходной аттенюатор

Упрощенная электрическая схема секции аттенюатора представлена на рисунке 3.11. Номинальные значения резисторов $R1$, $R2$ и $R3$ каждой секции выбираются из условия обеспечения заданного коэффициента деления секции, а также входного и выходного сопротивлений, равных $(50 \pm 0,25)$ Ом. В последней секции Атт4 содержатся две включенные последовательно секции, аналогичных секции Атт3 с ослаблением 1:10, что обеспечивает коэффициент деления 1:100.

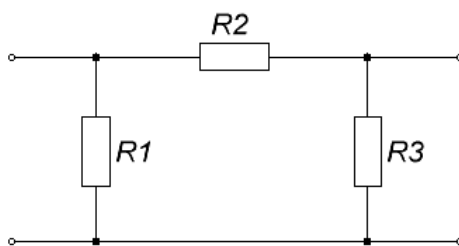


Рисунок 3.11

В таблице 3.4 представлены значения номиналов резисторов для каждой секции аттенюатора.

При практической реализации аттенюатора необходимые сопротивления резисторов получают, последовательным соединением нескольких резисторов, поэтому вместо, скажем, резистора R1 приходится включать последовательно 2 – 3 резистора. Для минимизации изменения сопротивлений резисторов из-за увеличения их температуры от протекающего тока, мощность рассеивания этих резисторов выбирается на порядок больше рассеиваемой на них.

При реализации аттенюатора для исключения влияния характеристик резисторов, допуск выбирается 0 %.

Таблица 3.4 – Номинальные значения резисторов для каждой секции выходного аттенюатора

Секция	Атт1 (1:2)	Атт2 (1:4)	Атт3 (1:10)	Атт4 (1:100)	
				Подсекция 1	Подсекция 2
$R1$, Ом	16,7	30	40,9	40,9	40,9
$R2$, Ом	66,7	26,7	10,1	10,1	10,1
$R3$, Ом	16,7	30	40,9	40,9	40,9

Для получения выходных напряжений в диапазоне от 5000 до 2500 мВ все четыре секции аттенюатора должны быть выключены, т.е. контакты реле должны располагаться в верхнем по схеме на рисунке 3.9 положении. Для получения выходных напряжений в диапазоне от 2499 до 1250 мВ включается первая секция аттенюатора Атт1. Напряжения в диапазоне от 1249 до 625 мВ получают посредством включения секции аттенюатора Атт2. Напряжения от 624 до 500 мВ получаются при последовательном включении первой и второй секций аттенюаторов Атт1 и Атт2. Для получения выходных напряжений менее 500 мВ включаются последовательно две секции аттенюатора Атт3 и Атт4 с ослаблением 1:10 и 1:100 соответственно.

3.5 Результаты моделирования

Схема компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ» представлена в Приложении А.

На рисунке 3.12 представлены осциллограммы сигнала на выходе синтезатора DDS и на выходе усилителя мощности.

Как видно, на выходе синтезатора DDS амплитуда выходного напряжения должна составлять $0,5 \cdot \sqrt{2} = 0,707$ В, которая на выходе усилителя достигает максимального значения до $5 \text{ В} \cdot \sqrt{2} = 14,1$ В.

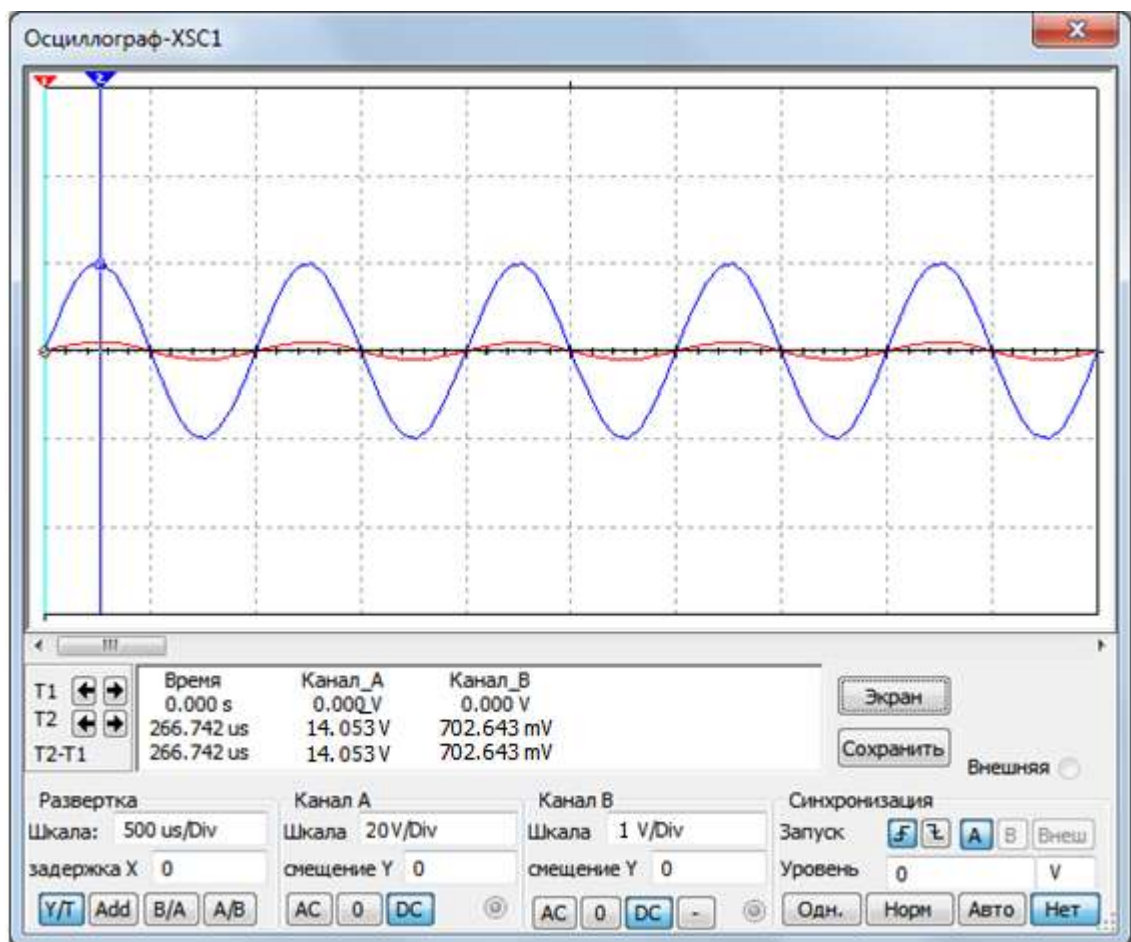


Рисунок 3.12 – Осциллограммы сигнала на выходе синтезатора сигналов и на выходе усилителя мощности

Далее необходимо провести измерения метрологических характеристик компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ» с целью выявления их улучшения.

4 Исследование метрологических характеристик компьютерной модели генератора сигналов «Габарит Г3»

Программный пакет моделирования цифровых устройств NI Multisim не позволяет провести измерения таких метрологических характеристик, как дополнительная абсолютная погрешность установки частоты, обусловленная изменением температуры окружающего воздуха и дополнительная относительная погрешность установки выходного напряжения, обусловленная изменением температуры окружающего воздуха.

Так же, согласно ГОСТ 8.314-78 [10] нестабильность частоты генератора определяется как разность между максимальным и минимальным значениями, измеренными каждые 1 – 3 минуты в течение 15 минут или через каждые 30 минут в течение 3 часов. В программной среде NI Multisim данные характеристики трудно измерить в виду того, что в программе не предусмотрено изменение характеристик компонентов по истечении времени.

Поэтому в данной работе проводились измерения таких метрологических характеристик генератора «Габарит Г3», как

- основная абсолютная погрешность установки частоты;
- основная относительная погрешность установки выходного напряжения;
- коэффициент гармоник выходного сигнала.

Измерения проводились с помощью встроенных в программный комплект NI Multisim виртуальных приборов

Результаты измерений и расчетов метрологических характеристик оформлялись согласно ПМГ 96-2009 [23] и МИ 1317-2004 [24].

4.1 Погрешность установки частоты

Измерения значений частоты выходного сигнала осуществлялось с помощью виртуального частотомера (рисунок 4.1-4.2).

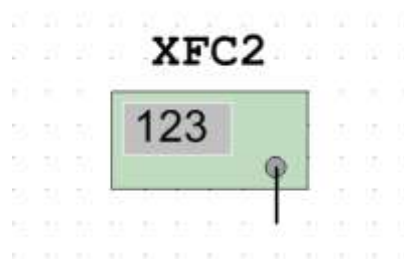


Рисунок 4.1– Частотомер

На рисунке 4.2 представлена панель отображения виртуального частотомера. На данной панели можно выбрать вид измерения, измеряемый параметр (частота, период, длительность, фронт или спад), выбрать чувствительность и уровень запуска.

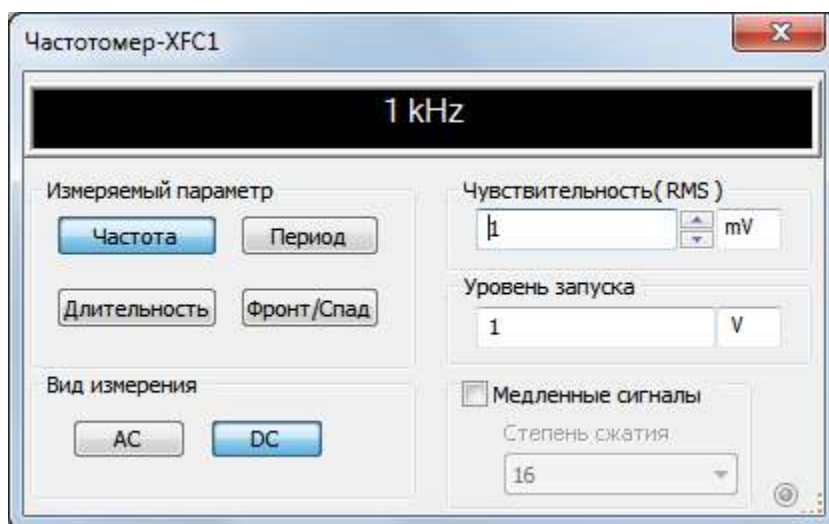


Рисунок 4.2 – Панель отображения виртуального частотомера

Основная абсолютная погрешность установки частоты рассчитывалась по формуле (4.1):

$$\Delta f = |f_{\text{изм}} - f_{\text{уст}}|, \quad (4.1)$$

где $f_{\text{изм}}$ – измеренное значение частоты;

$f_{\text{уст}}$ – установленное значение частоты.

Согласно с ГОСТ 8.314-78 [10], погрешность определяется при максимальном выходном напряжении, в данном случае при 5 В.

По данным из таблиц Б.1 и Б.2 (Приложение Б) построен график погрешности установки частоты, который приведен на рисунке 4.3

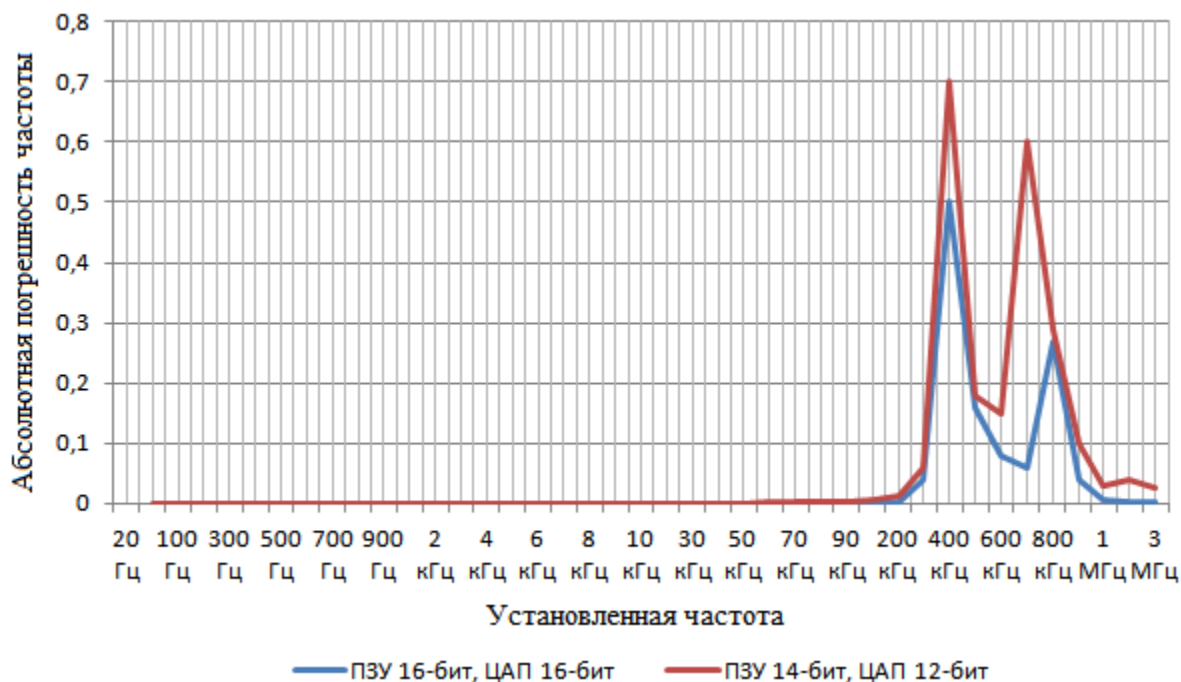


Рисунок 4.1– Зависимость погрешности установки частоты от установленной частоты

Из рисунка 4.1 следует, что по результатам моделирования погрешность установки частоты не превышает предельных значений, установленных техническим заданием, а при использовании 16-ти разрядного ПЗУ и ЦАП погрешность установки частоты уменьшается.

4.2 Погрешность установки выходного напряжения

Измерения выходного напряжения проводилось с помощью мультиметра (рисунок 4.4)

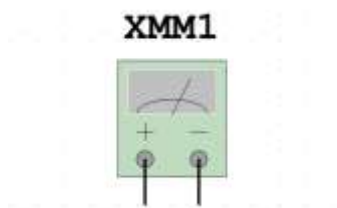


Рисунок 4.4 –Мультиметр

Основная относительная погрешность установки выходного напряжения рассчитывалась по формуле (4.2):

$$\delta_U = (\Delta U / U_{\text{изм}}) * 100 \% \quad (4.2)$$

где ΔU – основная абсолютная погрешность установки выходного напряжения;

$U_{\text{изм}}$ – измеренное значение выходного напряжения.

Основная абсолютная погрешность установки выходного напряжения рассчитывалась по формуле (4.3):

$$\Delta U = \pm | U_{\text{изм}} - U_{\text{уст}} |, \quad (4.3)$$

где ΔU – установленное значение выходного напряжения.

Согласно с ГОСТ 8.314-78 [10], погрешность определяется при установленной опорной частоте, в данном случае 1 кГц.

По данным из таблиц В.1 и В.2 (Приложение В) построен график погрешности установки выходного напряжения, который приведен на рисунке 4.5

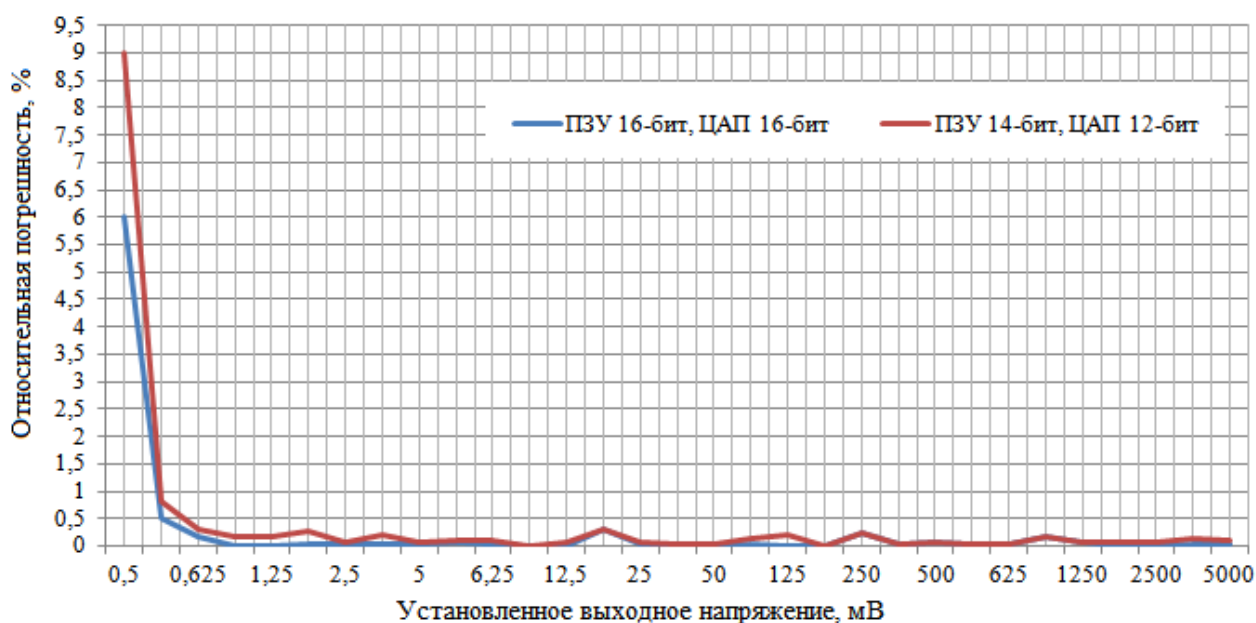


Рисунок 4.5 – Зависимость погрешности установки выходного напряжения от установленного напряжения

Из рисунка 4.5 следует, что по результатам моделирования погрешность установки выходного напряжения не превышает предельных

значений, а при использовании 16-ти разрядного ПЗУ и ЦАП погрешность уменьшается.

4.3 Коэффициент гармоник выходного напряжения

Измерения коэффициента гармоник проводилось с помощью виртуального измерителя нелинейных искажений (рисунок 4.6).

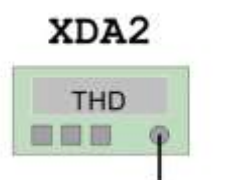


Рисунок 4.6 – Измеритель нелинейных искажений

На рисунке 4.7 представлена панель отображения измерителя нелинейных искажений, на которой можно выбрать частоту, при которой будет происходить измерение.

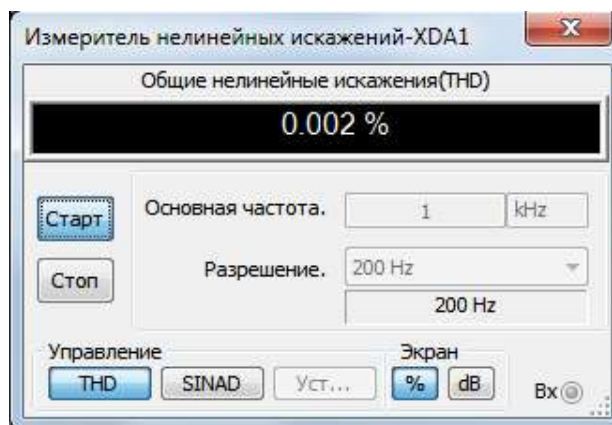


Рисунок 4.7 – Панель отображения измерителя нелинейных искажений

Согласно с ГОСТ 8.314-78 [10], коэффициент гармоник определяется при номинальном выходном напряжении, в данном случае 1 В.

По данным из таблиц Г.1 и Г.2 (Приложение Г) построен график коэффициента гармоник (рисунок 4.8) в зависимости от установленной частоты.

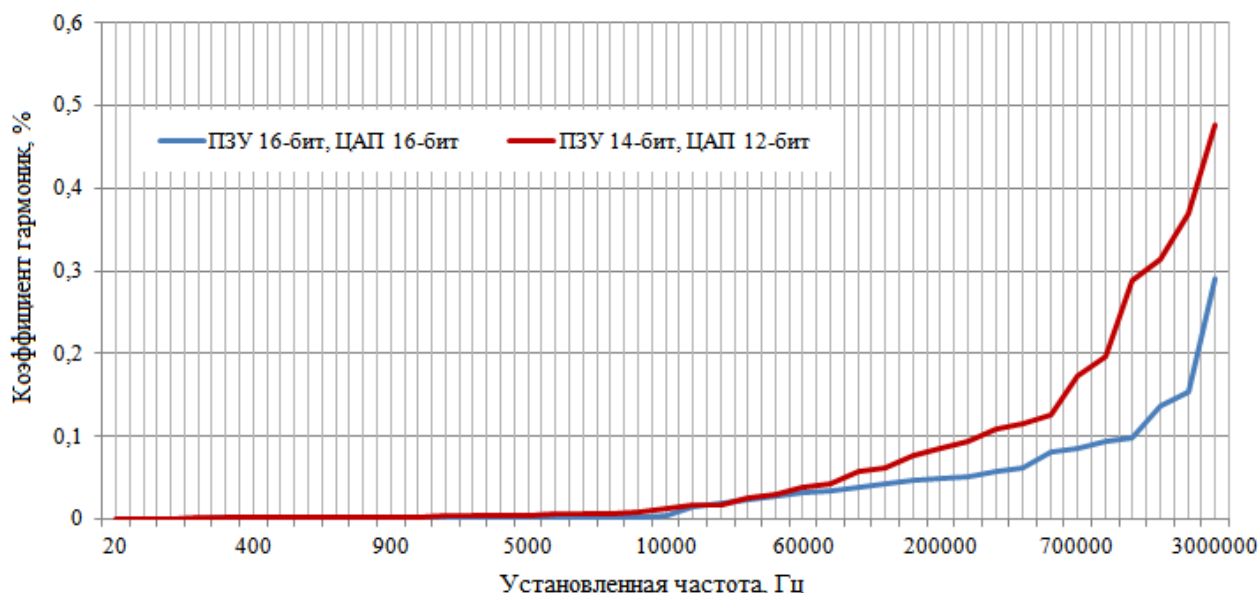


Рисунок 4.8 – Зависимость коэффициента гармоник от установленной частоты

Из рисунка 4.8 следует, что по результатам моделирования коэффициент гармоник не превышает предельных значений, а при использовании 16-ти разрядного ПЗУ и ЦАП погрешность установки частоты уменьшается.

4.4 Сравнение улучшений метрологических характеристик компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ»

В таблице 4.1 представлено сравнение максимальных значений метрологических характеристик компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ» при 16-бит ПЗУ и 16-бит ЦАП в сравнении при 14-бит ПЗУ и 12-бит ЦАП, а также в сравнении с установленными значениями техническим заданием.

Из таблицы 4.1 следует, что погрешность установки частоты, погрешность установки выходного напряжения и коэффициент гармоник удовлетворяют требованиям технического задания.

Таблица 4.1 – Сравнение метрологических характеристик компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ»

Метрологическая характеристика	Значение метрологической характеристики		
	Установленное техническим заданием	При 16-бит ПЗУ и 16-бит ЦАП	При 14-бит ПЗУ и 12-бит ЦАП
Погрешности установки частоты	0,25 кГц (при $f_{уст} = 500$ кГц)	0,16 кГц (при $f_{уст} = 500$ кГц)	0,18 кГц (при $f_{уст} = 500$ кГц)
Погрешность установки выходного напряжения	(4 – 15) %	6 %	9 %
Коэффициент гармоник	0,5 %	0,29 %	0,477 %

При увеличении разрядности ПЗУ и ЦАП наблюдается улучшение данных метрологических характеристик.

5 Социальная ответственность

Для исследования и моделирования метрологических характеристик генератора «Габарит ГЗ» необходима персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ), поэтому объектом исследования является рабочая зона, оснащенная ПЭВМ.

Исследования проводились в учебной аудитории учебного корпуса Томского Политехнического университета. Данная аудитория оснащена рабочими местами, двумя ПЭВМ.

В данном разделе рассматриваются выявление вредных и опасных факторов труда, экологическая безопасность, выявление наиболее типичной чрезвычайной ситуации и разработка превентивных мер по ее предупреждению, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

5.1 Профессиональная социальная безопасность.

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96 [25] работа с компьютером относится к категории работ Ia. Данная работа производится сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением. Интенсивность энергозатрат работ данной категории составляет до 120 ккал/ч (до 139 Вт).

При работе с ПЭВМ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 [26] создаются следующие физические вредные факторы:

- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- недостаточная освещенность рабочей зоны

При работе с ПЭВМ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 [26] создаются следующие психофизические факторы:

- статические физические перегрузки;
- умственное перенапряжение;
- монотонность труда.

При работе с ПЭВМ физическими опасными факторами являются поражение электрическим током, короткое замыкание и статическое электричество.

5.1.2 Повышенная или пониженная температура воздуха на рабочем месте

Оптимальные условия микроклимата обеспечивают высокую работоспособность и не вызывают отклонения в самочувствии.

К показателям, характеризующим микроклимат рабочей зоны, относятся:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

СанПиН 2.2.4.548–96 [25] устанавливает оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для работ категории Ia, которые приведены в таблице 5.1 и таблице 5.2.

Таблица 5.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22 – 24	60 – 40	0,1
Теплый	23 – 25	60 – 40	0,1

Таблица 5.2 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин		для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	20,0 – 21,9	24,1 – 25,0	15 - 75	0,1	0,1
Теплый	21,0 – 22,9	25,1 – 28,0	15 - 75	0,1	0,2

В учебной аудитории, где проводилось исследования, параметры микроклимата соответствуют установленным нормам. В помещении имеется система отопления, несколько раз в день аудитория проветривается.

5.1.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Повышенный уровень шума влияет на органы и системы организма человека, затрудняет восприятие информации, снижает концентрацию.

Основным источниками шума для рассматриваемой рабочей зоны является ПЭВМ. Дополнительный шум возникает при открытии окон и форточек в аудитории. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [27] допустимый уровень звука, создаваемый ПЭВМ, не должен превышать значение 50 дБА.

По субъективным ощущениям на рабочем месте уровень шума не превышает допустимого значения.

5.1.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений

При работе с ПЭВМ работник подвергается воздействию электромагнитных излучений, источниками которых являются видеодисплей и системный блок. При длительном воздействии электромагнитного излучения

наблюдается ухудшение самочувствия работника, повышение температуры тела, возможно появление головной боли.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [27] устанавливает временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ, которые приведены в таблица 5.3.

Таблица 5.3 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочем месте

Наименование параметра		Временные допустимые уровни
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Рекомендуется располагать экран видеомонитора от глаз пользователя на расстояние не ближе 0,5 м, а в лучшем случае на расстоянии от 0,6 до 0,7 м. Рабочие места с ПЭВМ должны располагаться не менее 2,0 м друг от друга, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

Рабочие ПЭВМ оснащены LCD–мониторами, напряженность которых менее 2,5 В/м, что соответствует установленным нормам.

5.1.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны влияет на утомляемость, зрение и нервную систему.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [28] помещения с постоянным пребыванием людей должны оснащаться естественным освещением. Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы естественный свет падал с левой стороны.

Согласно СП 52.13330.2016 [29] работа с ПЭВМ при направлении зрения на рабочую поверхность не менее 70% относится к разряду работы Б,

подразряду работы 1. При этом относительная продолжительность работы освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения должна быть 300 лк.

В учебной аудитории применяется совмещенное освещение.

Источником естественного освещения является окно. Источником искусственного освещения являются два светильника типа «Молочный шар» с лампами накаливания ДРЛ с мощностью 250 Вт. На рисунке 5.1 представлена схема расположения светильников.

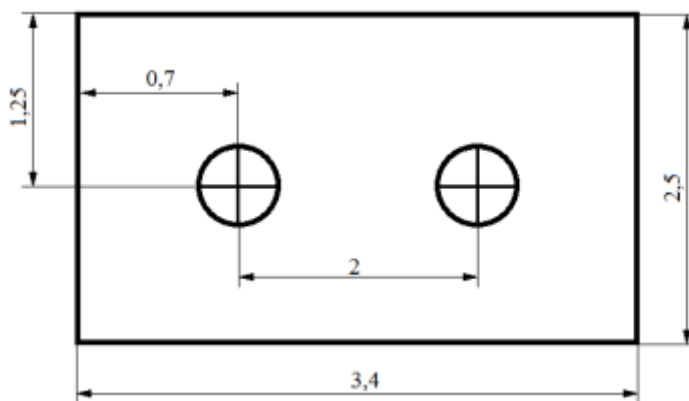


Рисунок 5.1 – Расположение светильников в аудитории

Расчет общего равномерного освещения.

Исходные данные для расчета: длина аудитории $A = 3,4$ м, ширина $B = 2,5$ м, высота светильника над рабочей поверхностью $h = 1,9$ м, площадь помещения $S = 8,5 \text{ м}^2$. Количество рядов светильников $N = 1$.

Коэффициент отражения стен $R_c = 50 \%$, потолка $R_n = 70 \%$. Коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $K_z = 1,5$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Необходимо, чтобы освещенность была не менее $E = 300$ лк.

Индекс помещения рассчитывается по формуле 5.1:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (5.1)$$

где S – площадь помещения;

h – высота светильника над рабочей поверхностью;

A – длина помещения;

B – ширина помещения.

Исходя из полученного значения индекса $i = 0,76$ помещения определяется коэффициент использования светового потока $\eta = 20 \%$.

Потребный световой поток ламп в каждом из рядов рассчитывается по формуле 5.2:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} \cdot 100\%. \quad (5.2)$$

где E – нормативная освещённость;

K_3 – коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли;

Z – коэффициент неравномерности;

N – количество рядов светильников.

Полученное значение потребного светового потока ламп $\Phi = 21037,5$ лм.

В рассматриваемой учебной аудитории используются две лампы типа ДРЛ с номинальной мощностью 250 Вт и световым потоком 13000 лм. Таким образом, фактическое значение светового потока $\Phi_{\text{фактич}} = 26000$ лм.

Фактическое значение освещения в помещении рассчитывается по формуле 5.3:

$$E_{\text{фактич}} = \frac{\Phi_{\text{факт}} \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%}. \quad (5.3)$$

Полученное значение $E_{\text{фактич}} = 370,77$ лк.

По результатам расчетов следует, что в учебной аудитории соблюдены нормы освещения.

5.1.6. Поражение электрическим током, короткое замыкание и статическое электричество

При работе с ПЭВМ возможно поражение электрическим током, короткое замыкание и статическое электричество, причинами которых могут быть:

- наличие проводов с поврежденной изоляцией;
- прикосновение к токоведущим частям;
- отсутствие предохранительных кожухов у розеток сети питания.

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 [30] электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы:

- защитное заземление;
- зануление;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляция нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- простое и защитное разделения цепей;
- компенсация токов замыкания на землю;
- электроизоляционные средства.

Учебная аудитория, где расположено рабочее место, является помещением без повышенной опасности. Токоведущие части ПЭВМ изолированы, что исключает прикосновение к токоведущим частям. Заземление корпуса ПЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Согласно для электроустановок с напряжением до 1000 В сопротивление заземления 4 Ом. Для сотрудников проводятся мероприятия по электробезопасности в виде инструктажа и периодической проверки правил по технике безопасности

5.2 Экологическая безопасность.

5.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Производственная деятельность человека оказывает существенное влияние на окружающую среду.

Работа по моделированию и исследованию метрологических характеристик средства измерений основана на использовании ПЭВМ. Данная деятельность не относится к промышленной и не является источником выброса вредных веществ, поступающих в окружающую среду.

При работе могут возникнуть такие проблемы, как утилизация перегоревших люминесцентных ламп, утилизация неисправной компьютерной техники.

Люминесцентные лампы являются источником света, которые содержат в себе пары ртути. При неправильной утилизации может возникнуть такая опасность, как выход паров ртути при разбитии колбы лампы, что является причиной возникновения опасного соединения как метилртуть, которое может накапливаться в почве и грунтовых водах.

При неправильной утилизации компьютерной техники возникает негативное влияние на окружающую среду вследствие распада тяжелых металлов и ядовитые соединения.

Неисправная компьютерная техника, а также перегоревшие люминесцентные лампы списываются специальным персоналом, а затем подвергается утилизации специализированными организациями.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Анализ вероятных чрезвычайных ситуаций

При работе с использованием ПЭВМ может возникнуть такая чрезвычайных ситуациях, как пожар.

Причинами возникновения пожара на рабочем месте могут быть:

- несоблюдение норм пожарной безопасности;
- короткое замыкание;
- использование неисправного электрооборудования и электроприборов;
- курение в неположенном месте.

5.3.2 Пожарная безопасность

В соответствии с СНиП 21-01-97 [31] в зданиях должны быть предусмотрены конструктивные, объемно-планировочные и инженерно-технические решения, обеспечивающие в случае пожара:

- возможность эвакуации людей до наступления угрозы их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара;
- возможность спасения людей;
- возможность доступа личного состава пожарных подразделений и подачи средств пожаротушения к очагу пожара, а также проведения мероприятий по спасению людей и материальных ценностей;
- нераспространение пожара на рядом расположенные здания;
- ограничение прямого и косвенного материального ущерба, включая содержимое здания и само здание.

Для избегания возникновения пожара необходимо придерживаться к таким требованиям, как:

- соблюдение противопожарных норм и правил;
- правильная эксплуатация оборудования;
- выполнение работ только с исправным оборудованием;
- подключение одного потребителя электроэнергии к одному источнику питания;
- запрет на курение в неположенном месте.

Согласно СНиП 21-01-97 [31] в случае возникновения пожара в здании должны быть предусмотрены:

- наличие первичных средств тушения пожара (внутренние пожарные краны, огнетушители, ящики с песком);
- свободный доступ к средствам тушения;
- свободный выход из помещений;
- наличие плана эвакуации и мест расположения средств для тушения пожара;
- наличие эвакуационных и аварийных выходов.

Здание, в котором расположено рассматриваемое рабочее место, соответствует требованиям пожарной безопасности: имеется система охранно-пожарной сигнализации, огнетушители, планы эвакуации и таблички с направлениями к запасным выходам. Сотрудники проходят вводный инструктаж по технике безопасности и инструктаж на рабочем месте.

Во избежание возникновения пожара необходимо выполнение следующих требований:

- выполнение работ в аудитории только с исправным оборудованием и электропроводки;
- подключение только одного потребителя электроэнергии к одному источнику электропитания;
- недопустимость курения и разведения открытого огня в аудитории.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно Статье 163 Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2011 г. № 197-ФЗ [32] работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки. К таким условиям, относятся:

- исправное состояние помещений, сооружений, машин, технологической оснастки и оборудования;
- своевременное обеспечение технической и иной необходимой для работы документацией;
- надлежащее качество материалов, инструментов, иных средств и предметов, необходимых для выполнения работы, их своевременное предоставление работнику;
- условия труда, соответствующие требованиям охраны труда и безопасности производства.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [27] работа с использованием ПЭВМ относится к группе Б – работа по вводу информации.

Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ для категории Ia и группы Б составляет до 15000 знаков.

Суммарное время регламентированных перерывов для категории работ с ПЭВМ Ia и группы Б составляет:

- 50 минут при 8-часовой смене;
- 80 минут при 12-часовой смене.

Рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него.

При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 ч), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов следует увеличивать на 30%.

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [27] расстояния между рабочими столами с ПЭВМ должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя не ближе 0,5 м, а в лучшем случае на расстоянии от 0,6 до 0,7 м.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения от 0,5 до 0,7. Высота рабочего стола должна регулироваться в пределах от 0,68 до 0,8 м, а при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 0,725 м. Пространство для ног должно быть высотой не менее 0,6 м и шириной не менее 0,5 м, глубина на уровне колен должна быть не менее 0,45 м и на уровне вытянутых ног не менее 0,65 м.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе и позволять изменять позу с целью предупреждения развития утомления. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 0,4 м;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах от 0,4 до 0,5 м;
- высоту опорной поверхности спинки ($0,30 \pm 0,02$) м, ширину не менее 0,38 м; 0,5 м, ширина
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ± 30 градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах от 0,26 до 0,4 м;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 0,25 м и шириной от 0,05 до 0,07 м.

Клавиатура необходимо располагать на поверхности стола на расстоянии от 0,1 до 0,3 м от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В результате исследования рабочего места, оснащенного ПЭВМ, в разделе «Социальная ответственность» выявлены возможные физические вредные и опасные факторы, психофизические факторы. Для рассматриваемой рабочей зоны выявленные факторы не превышают значений, установленных санитарными правилами и нормами.

Проведен анализ влияния объекта исследования на окружающую среду, в результате которого выявлены предполагаемые источники загрязнения, а именно перегоревшие люминесцентные лампы и неисправная компьютерная техника. Для исключения негативного влияния на окружающую среду организованы мероприятия по утилизации данных отходов.

Проведен анализ вероятных чрезвычайных ситуаций на рабочем месте, выявлены причины ее возникновения. При работе с использованием ПЭВМ может возникнуть такая чрезвычайных ситуациях, как пожар. Во избежание возникновения пожара установлены требования, которые необходимо выполнять на рабочем месте.

При работе с ПЭВМ определены условия труда и компоновка рабочей зоны. Учебная аудитория, рассматриваемая в данном разделе, оснащена рабочими местами и двумя ПЭВМ. Рабочие места оснащены рабочими столами, креслами и ПЭВМ. Конструкция рабочих столов и кресел обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности.

Таким образом, рассматриваемое рабочее место организовано в соответствии с санитарным нормам и правилам и обеспечивает безопасную работу для проведения исследований.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью магистерской диссертации является компьютерное моделирование генератора «Габарит ГЗ» для улучшения его метрологических характеристик.

В данном разделе рассмотрены следующие вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ (НИР);
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Оценка потенциальных потребителей результатов исследования

Результатом исследования магистерской диссертации является предложения по конструкторской модернизации прибора генератора сигналов «Габарит ГЗ». Потенциальными потребителями результатов данной работы являются предприятия, деятельность которых направлена на разработку или производство средств измерений, а также научные исследовательские центры, учебные заведения высшего образования, испытательные лаборатории.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для анализа конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения используется оценочная карта (таблица 6.1).

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле (6.1):

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 6.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Повышение производительности труда пользователя	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
2 Удобство в эксплуатации	0,08	4	4	5	0,32	0,32	0,4
3 Потребность в ресурсах памяти	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
4 Функциональная мощность	0,3	5	4	3	1,5	1,2	1,2
5 Качество интеллектуального интерфейса	0,15	5	4	5	0,75	0,5	0,75
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Конкурентоспособность продукта	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
2 Цена	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
3 Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
4 Финансирование научной разработки	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
Итого	1	Суммарная оценка			4,78	4,17	4,18
Примечание – Б _ф – моделирование с помощью NI Multisim; Б _{к1} – моделирование с помощью Proteus; Б _{к2} – моделирование с помощью MathCad.							

Из таблицы 6.1 следует, что показатель конкурентоспособности при моделирование с помощью NI Multisim является наибольшим по сравнению с остальными.

6.1.3 SWOT-анализ

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица, представленная в таблице 6.2, в которой определяются сильные и слабые стороны разработки, а также возможности и угрозы.

Таблица 6.2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1.Использование вместо натурального эксперимента виртуальной модели С2. Быстрота моделирования	Слабые стороны: Сл1. Умение использования программного пакета
Возможности: В1.Использование современных программных пакетов В2. Улучшение характеристик продукта		
Угрозы: У1.Отсутствие квалифицированного персонала		

Для выявления взаимосвязей реализуются интерактивные матрицы (таблицы 6.3 - 6.6).

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей

		Сильные стороны	
		C1	C2
Возможности	B1	+	+
	B2	+	-

Таблица 6.4 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей

		Слабые стороны	
		Сл1	
Возможности	B1	+	
	B2	-	

Таблица 6.5 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз

		Сильные стороны	
		C1	C2
Угрозы	У1	+	+

Таблица 6.6 – Интерактивная матрица слабых сторон и угроз

		Слабые стороны	
		Сл1	
Угрозы	У1	+	

Далее составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – SWOT-анализ

	Сильные стороны: С1.Использование вместо натурального эксперимента виртуальной модели С2. Быстрота моделирования	Слабые стороны: Сл1. Умение использования программного пакета
Возможности: В1.Использование современных программных пакетов В2. Улучшение характеристик продукта	В1С1 – экономия ресурсов В1С2 – экономия времени В2С1 – устранение недостатков продукта	В1Сл1 – использование программного пакета с меньшими возможностями моделирования
Угрозы: У1.Отсутствие квалифицированного персонала	У1С1 – увеличение затрат на ресурсы на проведение эксперимента У1С2 – увеличение времени на моделирование	У1Сл1 – необходимость обучения персонала

6.2 Планирование и управление научно-техническим проектом

6.2.1 Контрольные события проекта

Для выполнения НИР создана рабочая группа, которая включает в себя научного руководителя (НР) и студента (С).

Создан перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, приведены исполнители по каждому виду работ. Данный перечень представлен в таблице 6.8

Таблица 6.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Теоретические исследования	2	Поиск, анализ и изучение программных пакетов для моделирования	С
	3	Изучение принципа работы СИ	НР, С
Создание компьютерной модели СИ	4	Моделирование блоков СИ	С
	5	Отладка компьютерной модели	НР, С
Исследование МХ компьютерной модели СИ	6	Исследование погрешности установки частоты	С
	7	Исследование погрешности установки выходного напряжения	С
	8	Исследование коэффициента гармоник выходного напряжения	С
	9	Оценка результатов	НР, С
Оформление отчета по НИР	10	Оформление пояснительной записки	С

В результате создан перечень этапов и работ. На каждом этапе назначен исполнитель.

6.2.2 План проекта

В качестве графика проведения научного проекта используется диаграмма Ганта.

В рамках планирования необходимо построить линейный график, который представлен в таблице 6.9

Таблица 6.9 – Линейный график

№ раб	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Должность исполнителя
1	2	3	4	5
1	2	08.02.2018	10.02.2018	НР
2	7	10.02.2018	15.02.2018	С
3	12	16.02.2018	28.02.2018	НР, С
4	32	01.03.2018	02.04.2018	С
5	14	03.04.2018	17.04.2018	НР, С
6	5	18.04.2018	23.04.2018	С
7	6	24.04.2018	30.04.2018	С
8	6	01.05.2018	06.05.2018	С
9	10	07.05.2015	17.05.2018	НР, С
10	14	17.05.2018	31.05.2018	С
ИТОГО		НР – 17 рабочих дней, С – 85 рабочих дней		

По данным таблицы строится календарный план-график (таблица 6.10). Данный график строится для наибольшего по длительности исполнения работ в рамках исследовательской работы на основании таблицы с разбиением по месяцам и декадам за период времени написания НИР.

Таблица 6.10– Календарный план-график

№ работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			февраль		март			апрель			май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	НР	2	■											
2	С	7	■											
3	НР	12		■										
	С	12		■										
4	С	32			■	■	■	■						
5	НР	14						■	■					
	С	14						■	■					
6	С	5							■	■				
7	С	6								■	■			
8	С	6									■	■		
9	НР	10										■	■	
	С	10										■	■	
10	С	14											■	
Примечание:			■	научный руководитель, - ■ студент.										

6.2.3 Бюджет научного исследования

Для определения бюджета научно-технического исследования (НТИ) в рамках выполнения ВКР с учетом выбранного направления исследования и исполнителей работ были рассчитаны следующие виды затрат:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

6.2.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

В рамках расчета материальных затрат данного НТИ учитываются затраты на приобретение пачки бумаги А4 и краски для принтера.

Результаты расчетов материальных затрат приведены в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы Z_M , руб.
Заправка картриджа	шт.	1	700	700
Пачка бумаги формата А4	шт.	1	300	300
Всего за материалы				1000
Транспортно-заготовительные расходы (5 % от цены)				50
Итого по статье C_M				1050

В ходе НТИ у приобретенной продукции отсутствуют остатки, что исключает стоимость возвратных отходов.

6.2.3.2 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате рассчитывается на основании трудоемкости выполняемых работ, а также действующей системы оплаты труда.

Заработная плата участников выполнения НТИ рассчитывается по формуле (6.2):

$$C_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.2)$$

где $Z_{осн}$ – величина основной заработной платы;

$Z_{доп}$ – величины дополнительной заработной платы.

Основная заработная плата одного исполнителя от предприятия рассчитывается по формуле (6.3):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (6.3)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, которые выполняются исполнителем, раб. дн (для научного руководителя $T_p = 17$ рабочих дней, для студента $T_p = 85$ рабочих дней).

Среднедневная заработная плата $Z_{дн}$ определяется по формуле (6.4):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o}, \quad (6.4)$$

где Z_m – месячный должностной оклад, руб.;

M – количество месяцев работы исполнителя без отпуска за период года (при шестидневной рабочей неделе и отпуске в 48 рабочих дней значение $M = 10,4$ месяца);

F_o – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Результаты расчета годового фонда рабочего времени приведены в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные дни; - праздничные дни	52 14	52 14
Потери рабочего времени: - отпуск; - невыходы по болезни	48 -	48 21
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	230

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле (6.5):

$$З_m = З_б \cdot k_p, \quad (6.5)$$

где $З_б$ – базовый оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент (для Томска равен 30 %).

Базовый оклад для сотрудников Томского Политехнического университета устанавливается согласно Приказу № 5994, в котором оклад научного руководителя, работающего в должности профессора, составляет 47104 рублей, а для студента, работающего в должности учебно-вспомогательного персонала, оклад равен 9489 рублей.

В таблице 6.13 представлены результаты расчета основной заработной платы.

Таблица 6.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб	$k_{пр}$	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Научный руководитель	47104	1,3	61235,2	2537,24	17	43133
Студент	9489	1,3	12335,7	557,79	85	47412,15

6.2.3.3 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата $З_{дон}$ рассчитывается по формуле (6.6):

$$З_{дон} = k_{дон} \cdot З_{осн}, \quad (6.6)$$

где $k_{дон}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования $k_{дон} = 0,15$)

$З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 6.14 представлены результаты расчета основной заработной платы.

Таблица 6.14 – Расчет основной заработной платы

Зарботная плата	Научный руководитель	Студент
Основная зарплата, руб	43133	47412,15
Дополнительная зарплата, руб	6469,95	7111,82
Итого по статье $C_{зп}$, руб	49602,95	54523,97

6.2.3.4 Отчисления на социальные нужды

Отчисления во внебюджетные фонды $З_{внеб}$ рассчитываются по формуле (6.7):

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{дон}), \quad (6.7)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент уплаты во внебюджетные фонды (для учреждений, осуществляющих научную деятельность $k_{внеб} = 30 \%$).

Результаты расчетов отчислений во внебюджетные фонды представлены в таблице 6.15.

Таблица 6.15– Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	43133	6469,95
Студент	47412,15	7111,82
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Научный руководитель	14880,89	
Студент	16357,17	

6.2.3.5 Накладные расходы

В накладные расходы включаются те затраты организации, которые не попадают в предыдущие статьи расходов, например: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Накладные расходы $Z_{накл}$ рассчитываются по формуле (6.8):

$$C_{накл} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot k_{нр}, \quad (6.8)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент накладных расходов (в данном случае равен 16 %).

Получены следующие значения:

$$Z_{накл(НР)} = 7936,47 \text{ руб.}; Z_{накл(С)} = 8723,84 \text{ руб.}$$

6.2.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат на научно-исследовательскую работу является основой для формирования бюджета затрат на проект.

Определение бюджета затрат представлено в таблице 6.16.

Таблица 6.16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб		Номер пункта
	Научный руководитель	Студент	
Материальные затраты	–	1050	6.2.3.1
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	43133	47412,15	6.2.3.2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6469,95	7111,82	6.2.3.3
Отчисление во внебюджетные фонды	14880,89	16357,17	6.2.3.4
Накладные расходы	7936,47	8723,84	6.2.4.5
Бюджет затрат	72420,31	80654,98	Сумма п.п 6.2.3.1 – 6.2.3.5

Таким образом, в данном подразделе рассчитан бюджет затрат данного научного исследования для каждого исполнителя.

6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

6.3.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Эффективность определяется по интегральному показателю эффективности научного исследования. Данный показатель определяется через интегральные финансовый показатель эффективности и показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования рассчитывается из оценки бюджета затрат вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле (6.9):

$$I_{фин.н}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (6.9)$$

где $I_{фин.н}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

В результате получены значения интегрального финансового показателя для исполнения с использованием программного пакета NI Multisim, Proteus и MathCad, которые представлены в таблице 6.17

Таблица 6.17 – Расчет интегрального показателя финансовой эффективности научного исследования

Показатель	NI Multisim	Proteus	MathCad
Стоимость Φ_{pi} , руб	43080	39120	40828
$I_{фин.п}^{исп.i}$ руб	1	0,91	0,95

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования рассчитывается по формуле (6.10):

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i, \quad (6.10)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 6.17.

Таблица 6.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	NI Multisim	Proteus	MathCad
Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	5	5	4
Удобство в эксплуатации	0,25	4	4	5
Потребность в ресурсах памяти	0,15	5	4	4
Функциональная мощность	0,20	5	4	3
Качество интеллектуального интерфейса	0,25	5	4	5
ИТОГО	1			

В результате получены следующие значения:

$$I_{pi}(\text{Multisim}) = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 = 4,25;$$

$$I_{pi}(\text{Proteus}) = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 = 3,75;$$

$$I_{pi}(\text{MathCad}) = 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 = 3,3;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп\ i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (6.11) :

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}}, \quad (6.11)$$

В результате получены следующие значения интегрального показателя эффективности исполнения:

$$I_{исп}(\text{Multisim}) = \frac{I_{p-исп}(\text{Multisim})}{I_{фин.п}^{исп.(\text{Multisim})}} = \frac{4,25}{1} = 4,25;$$

$$I_{исп}(\text{Proteus}) = \frac{I_{p-исп}(\text{Proteus})}{I_{фин.п}^{исп.(\text{Proteus})}} = \frac{3,75}{0,91} = 4,12;$$

$$I_{исп}(\text{MathCad}) = \frac{I_{p-исп}(\text{MathCad})}{I_{фин.п}^{исп.(\text{MathCad})}} = \frac{3,3}{0,95} = 3,47.$$

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) определяется по формуле (6.12):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{фин.п}^P}{I_{фин.п}^A}, \quad (6.12)$$

где $I_{фин.п}^P$ – интегральный показатель эффективности разработки;

$I_{фин.п}^A$ – интегральный показатель эффективности аналога.

Результаты сравнительной эффективности разработки представлены в таблице 6.18.

Из таблицы 6.18 следует, что разработка с использованием NI Multisim является наиболее затратной по интегральному финансовому показателю, но наиболее эффективным вариантом по показателям сравнительной эффективности.

Таблица 6.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатель	NI Multisim	Proteus	MathCad
1	Интегральный финансовый показатель	1	0,91	0,95
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,25	3,9	3.3
3	Интегральный показатель эффективности	4,25	4,12	3,47
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-	1,03	1,22

6.4 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате проведения исследования в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» определена трудоемкость выполнения работ и построен график проведения научного исследования; рассчитаны затраты на проведение работ и бюджет каждого исполнителя.

Бюджет затрат для научного руководителя составил 72430,31 рублей, для студента 80654,98рублей.

Проведен анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, в результате которого рассчитано, что моделирование с помощью NI Multisim является наиболее конкурентоспособным решением. Проведен SWOT-анализ, в результате которого составлена матрица SWOT-анализа с коррелирующими сильными и слабыми сторонами научного исследования, а также возможностями и угрозами.

Проведена оценка сравнительной эффективности исследования, в результате которой выявлено, что наиболее затратным, но и самым ресурсным эффективным исполнением является научное исследование с использованием программного пакета NI Multisim.

Заключение

В результате работы реализована модель цифрового низкочастотного генератора сигналов на основе синтезатора прямого цифрового синтеза в программной среде NI Multisim.

В качестве модернизации устройства работы генератора «Габарит ГЗ» предложено использовать 16-ти разрядный ПЗУ, вместо 14-ти разрядного, а также использовать 16-ти разрядный ЦАП, вместо 12-ти разрядного.

Проведены измерения метрологических характеристик усовершенствованной модели генератора. По результатам измерений следует, что погрешность установки частоты, погрешность установки выходного напряжения и коэффициент гармоник удовлетворяют требованиям технического задания.

При этом максимальное значение погрешности установки частоты составляет $\pm 0,268$ кГц при предельном значении $\pm 0,4$ кГц. Максимальное значение погрешности установки выходного напряжения составляет ± 6 % при установленном значении техническим заданием $\pm (4 - 10)$ %. Максимальное значение коэффициента гармоник составляет 0,29 % при установленном значении техническим заданием 0,5 %.

В дальнейшем планируется создание микросхемы DDS с реализацией 16-ти разрядного ПЗУ и 16-ти разрядного ЦАП и проведение исследований улучшения метрологических характеристик на опытно-конструкторском образце генератора «Габарит ГЗ», что позволит способствовать его продвижению на рынок конкурентоспособных товаров и услуг.

Список использованных источников

- 1 Генераторы сигналов от А до Я. Учебное пособие – Tektronix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.platan.ru/docs/pdf/generatory-signalov.pdf>
- 2 Мёрфи Ева, Слэттери Колм Всё о синтезаторах DDS / перевод Алексей Власенко // Компоненты и технологии. – 2005. – № 1. – С. 28-32.
- 3 DDS: прямой цифровой синтез частоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.digit-el.com/files/articles/dds.pdf>
- 4 Корячко В.П. Теоретические основы САПР. – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 7с.
- 5 Лаборатория САПР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.csa.ru/CSA/CADS/enter.htm>.
- 6 Математическое моделирование электронных схем / Глотопов А.Ф.: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012 – 168с.
- 7 Моделирование электронных схем: учебное пособие / Т.И. Чернышова, Н.Г. Чернышов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 80 с.
- 8 Применение программного комплекса Multisim для проектирования устройств на микроконтроллерах: лабораторный практикум / А. А. Шегал. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. –114 с.
- 9 ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М.: Стандартинформ, 2006. – 27 с.
- 10 ГОСТ 8.314-78 Государственная система обеспечения единства измерений. Генераторы низкочастотные измерительные. Методы и средства поверки. – М.: «Издательство стандартов», 1979. – 12 с.
- 11 AD9958 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9958>.

- 12 AD9837 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9837>.
- 13 AD5932 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad5932>.
- 14 AD9957 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9957>.
- 15 AD9956 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9956>.
- 16 AD9953 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9953>.
- 17 AD9834 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9834>.
- 18 AD9852 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9852>.
- 19 AD9856 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9856>.
- 20 AD9851 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9851>.
- 21 AD9830 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad9830>.
- 22 7483N Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=7483N>.
- 23 74175N Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/27396/TI/SN74175N.html>
- 22 Yuriy K. Rybin Measuring signal generators. Theory & Design. – Springer
International Publishing, Switzerland, 204. – 488 с.
- 23 ПМГ 96-2009 Государственная система обеспечения единства
измерений. Результаты и характеристики качества измерений. Формы
представления [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://docs.cntd.ru/document/1200079072>.

24 МИ 1317-2004 Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200044373>.

25 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 20 с

26 ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2004. – 4 с

27 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498/>.

28 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 2003. – 24 с.

29 5СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>.

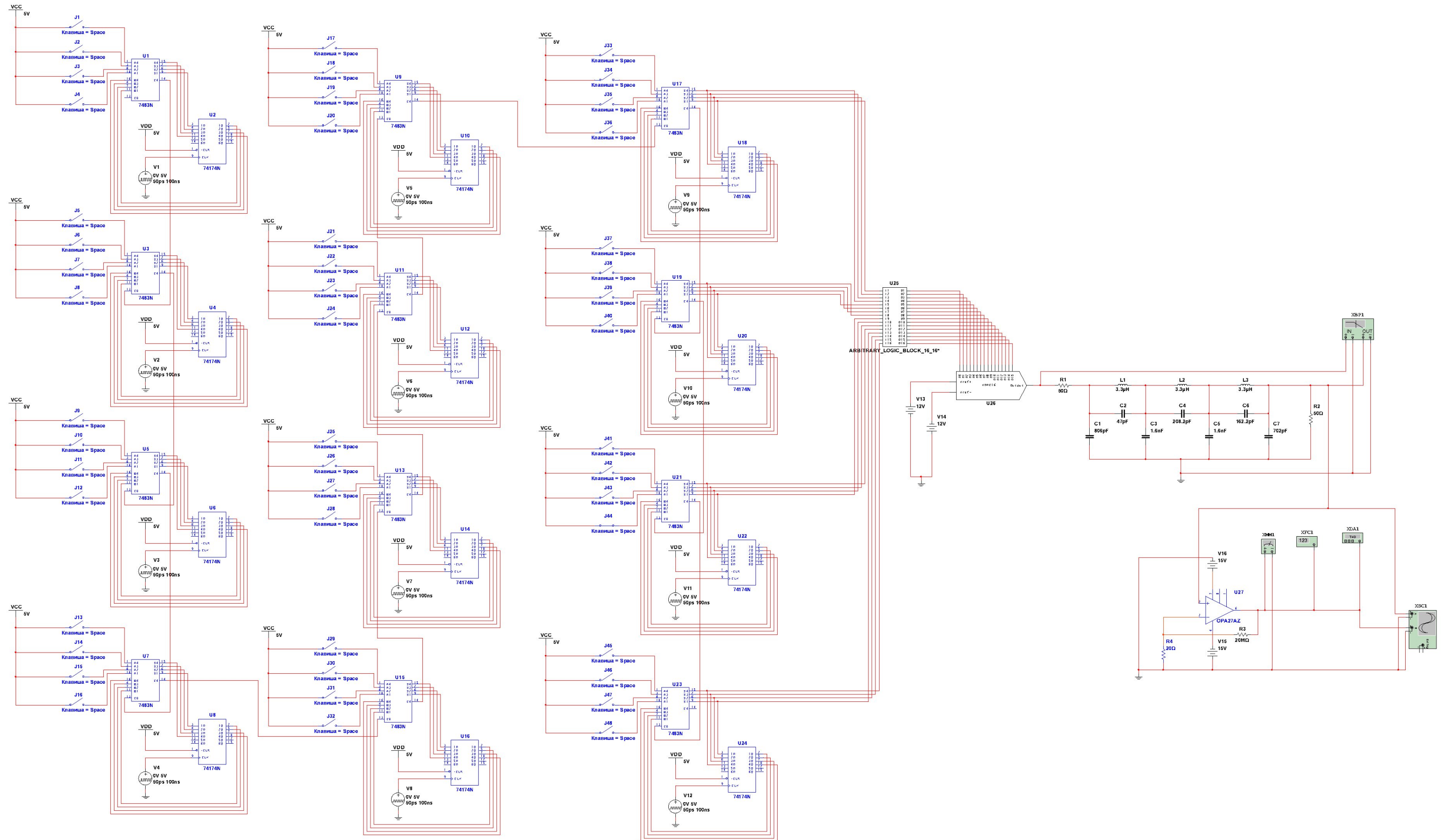
30 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2010. – 27 с.

31 Строительные нормы и правила: СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: ФГУП ЦПП, 2002. – 21 с.

32 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2011 г. № 197-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/.

(обязательное)

Схема компьютерной модели генератора «Габарит ГЗ»



Приложение Б

(обязательное)

Результаты измерения погрешности частоты

Таблица Б.1 – Результаты измерения погрешности частоты при установленном напряжении 5 В при 16 –бит ПЗУ и 16–бит ЦАП

Установленная частота $f_{уст}$	Измеренная частота $f_{изм}$	Погрешность $\Delta = f_{изм} - f_{уст} $
20 Гц	-	-
60 Гц	60 Гц	0
100 Гц	100 Гц	0
200 Гц	200 Гц	0
300 Гц	300 Гц	0
400 Гц	400 Гц	0
500 Гц	500 Гц	0
600 Гц	600 Гц	0
700 Гц	700 Гц	0
800 Гц	800 Гц	0
900 Гц	900 Гц	0
1 кГц	1 кГц	0
2 кГц	2 кГц	0
3 кГц	3 кГц	0
4 кГц	4 кГц	0
5 кГц	5 кГц	0
6 кГц	6 кГц	0
7 кГц	7 кГц	0
8 кГц	8 кГц	0
9 кГц	9 кГц	0
10 кГц	10 кГц	0
20 кГц	20 кГц	0
30 кГц	30 кГц	0
40 кГц	40 кГц	0
50 кГц	50 кГц	0
60 кГц	60 кГц	0
70 кГц	70 кГц	0
80 кГц	79,999 кГц	0,001 кГц
90 кГц	90 кГц	0
100 кГц	100,003 кГц	0,003 кГц
200 кГц	200,002 кГц	0,001 кГц
300 кГц	300,037 кГц	0,04 кГц

Продолжение таблицы Б.1

Установленная частота $f_{уст}$	Измеренная частота $f_{изм}$	Погрешность $\Delta = f_{изм} - f_{уст} $
400 кГц	399,545 кГц	0,5 кГц
500 кГц	500,161 кГц	0,16 кГц
600 кГц	600,077 кГц	0,08кГц
700 кГц	700,055 кГц	0,06кГц
800 кГц	800,268 кГц	0,27 кГц
900 кГц	900,043 кГц	0,04 кГц
1 МГц	999,993 МГц	0,007 МГц
2 МГц	2,001 МГц	0,001 МГц
3 МГц	3,001 МГц	0,001 МГц

Таблица Б.2 – Результаты измерения погрешности частоты при установленном напряжении 5 В при 14 –бит ПЗУ и 12–бит ЦАП

Установленная частота $f_{уст}, Гц$	Измеренная частота $f_{изм}, Гц$	Погрешность $\Delta = f_{изм} - f_{уст} $
20 Гц	-	-
60 Гц	60 Гц	0
100 Гц	100 Гц	0
200 Гц	200 Гц	0
300 Гц	300 Гц	0
400 Гц	400 Гц	0
500 Гц	500 Гц	0
600 Гц	600 Гц	0
700 Гц	700 Гц	0
800 Гц	800 Гц	0
900 Гц	900 Гц	0
1 кГц	1 кГц	0
2 кГц	2 кГц	0
3 кГц	3 кГц	0
4 кГц	4 кГц	0
5 кГц	5 кГц	0
6 кГц	6 кГц	0
7 кГц	7 кГц	0
8 кГц	8 кГц	0
9 кГц	9 кГц	0
10 кГц	10 кГц	0
20 кГц	20кГц	0
30 кГц	30 кГц	0
40 кГц	40кГц	0

Продолжение таблицы Б.2

Установленная частота $f_{уст}$	Измеренная частота $f_{изм}$	Погрешность $\Delta = f_{изм} - f_{уст} $
50 кГц	50 кГц	0
60 кГц	60,001 кГц	0,001 кГц
70 кГц	69,998 кГц	0,002 кГц
80 кГц	79,997 кГц	0,003 кГц
90 кГц	90,004 кГц	0,004 кГц
100 кГц	100,006 кГц	0,006 кГц
200 кГц	200,012 кГц	0,012 кГц
300 кГц	300,056 кГц	0,06 кГц
400 кГц	399,338 кГц	0,7 кГц
500 кГц	500,183 кГц	0,18 кГц
600 кГц	600,152 кГц	0,15 кГц
700 кГц	700,572 кГц	0,6 кГц
800 кГц	800,285 кГц	0,29 кГц
900 кГц	900,097 кГц	0,1 кГц
1 МГц	999,969 МГц	0,3 МГц
2 МГц	2,041 МГц	0,04 МГц
3 МГц	2,758 МГц	0,26 МГц

Приложение В

(обязательное)

Результаты измерения погрешности установки выходного напряжения

Таблица В.1 – Результаты измерения погрешности установки выходного напряжения при 16– бит ПЗУ и 16– бит ЦАП

Установленное напряжение $U_{уст}, мВ$	Частота f , кГц	Измеренное напряжение $U_{изм}, мВ$	Абсолютная погрешность $\Delta = U_{изм} - U_{уст} , мВ$	Относительная погрешность $\delta_U, \%$
0,5	1	0,47	0,03	6
0,624	1	0,621	0,003	0,5
0,625	1	0,624	0,001	0,16
1,249	1	1,249	0	0
1,25	1	1,25	0	0
2,49	1	2,489	0,001	0,04
2,5	1	2,499	0,001	0,04
4,99	1	4,988	0,002	0,04
5	1	4,999	0,001	0,02
6,249	1	6,246	0,003	0,05
6,25	1	6,249	0,001	0,016
12,49	1	12,489	0,001	0,008
12,5	1	12,499	0,001	0,008
24,9	1	24,987	0,087	0,3
25	1	24,994	0,006	0,024
49,9	1	49,889	0,011	0,022
50	1	49,998	0,002	0,004
124	1	123,367	0,033	0,027
125	1	124,192	0,008	0,006
249	1	248,987	0,013	0,005
250	1	249,376	0,624	0,25
499	1	498,808	0,192	0,04
500	1	499,723	0,277	0,06
624	1	623,746	0,254	0,04
625	1	624,821	0,179	0,029
1249	1	1247	2	0,16
1250	1	1249	1	0,08
2499	1	2499	0	0
2500	1	2499	1	0,04
4999	1	4997	2	0,04
5000	1	4998	2	0,04

Таблица В.2 – Результаты измерения погрешности установки выходного напряжения при 14– бит ПЗУ и 12– бит ЦАП

Установленно е напряжение $U_{уст}, мВ$	Частота f , кГц	Измеренное напряжение $U_{изм}, мВ$	Абсолютная погрешность $\Delta = U_{изм} - U_{уст} , мВ$	Относительная погрешность $\delta_U, \%$
0,5	1	0,46	0,04	9
0,624	1	0,619	0,005	0,8
0,625	1	0,623	0,002	0,3
1,249	1	1,247	0,002	0,16
1,25	1	1,248	0,002	0,16
2,49	1	2,483	0,007	0,28
2,5	1	2,498	0,002	0,08
4,99	1	4,98	0,01	0,20
5	1	4,996	0,004	0,08
6,249	1	6,242	0,007	0,11
6,25	1	6,244	0,006	0,1
12,49	1	12,389	0,101	0,8
12,5	1	12,493	0,007	0,06
24,9	1	24,976	0,076	0,3
25	1	24,983	0,017	0,07
49,9	1	49,889	0,011	0,022
50	1	49,991	0,009	0,018
124	1	123,367	0,633	0,5
125	1	123,742	1,258	1,0
249	1	248,987	0,013	0,005
250	1	249,376	0,624	0,25
499	1	498,808	0,192	0,038
500	1	499,723	0,277	0,06
624	1	623,746	0,254	0,04
625	1	624,821	0,179	0,029
1249	1	1247	2	0,16
1250	1	1249	1	0,08
2499	1	2497	2	0,08
2500	1	2498	2	0,08
4999	1	4993	6	0,12
5000	1	4995	5	0,10

Приложение Г

(обязательное)

Таблица Г.1 – Результаты измерения коэффициента гармоник при установленном напряжении 1 В и изменяющейся частоте при 16–бит ПЗУ и 16–бит ЦАП

Установленная частота $f_{уст}$, Гц	Коэффициент гармоник K_2 , %
20 Гц	0,000
60 Гц	0,000
100 Гц	0,000
200 Гц	0,000
300 Гц	0,001
400 Гц	0,002
500 Гц	0,002
600 Гц	0,002
700 Гц	0,001
800 Гц	0,000
900 Гц	0,001
1 кГц	0,001
2 кГц	0,001
3 кГц	0,001
4 кГц	0,002
5 кГц	0,002
6 кГц	0,002
7 кГц	0,002
8 кГц	0,003
9 кГц	0,003
10 кГц	0,004
20 кГц	0,018
30 кГц	0,020
40 кГц	0,024
50 кГц	0,028
60 кГц	0,031
70 кГц	0,035
80 кГц	0,038
90 кГц	0,042
100 кГц	0,047
200 кГц	0,049
300 кГц	0,051
400 кГц	0,058

Продолжение таблицы Г.1

Установленная частота $f_{уст}$, Гц	Коэффициент гармоник K_2 , %
500 кГц	0,062
600 кГц	0,081
700 кГц	0,085
800 кГц	0,094
900 кГц	0,099
1 МГц	0,136
2 МГц	0,153
3 МГц	0,290

Таблица Г.2 – Результаты измерения коэффициента гармоник при установленном напряжении 1 В и изменяющейся частоте при 14–бит ПЗУ и 12–бит ЦАП

Установленная частота $f_{уст}$, Гц	Коэффициент гармоник K_2 , %
20 Гц	0,000
60 Гц	0,000
100 Гц	0,000
200 Гц	0,000
300 Гц	0,000
400 Гц	0,000
500 Гц	0,000
600 Гц	0,000
700 Гц	0,000
800 Гц	0,000
900 Гц	0,001
1 кГц	0,003
2 кГц	0,004
3 кГц	0,005
4 кГц	0,005
5 кГц	0,005
6 кГц	0,006
7 кГц	0,006
8 кГц	0,007
9 кГц	0,009
10 кГц	0,012
20 кГц	0,014
30 кГц	0,017
40 кГц	0,025
50 кГц	0,029
60 кГц	0,038

Продолжение таблицы Г.2

Установленная частота $f_{уст}$, Гц	<i>Коэффициент гармоник K_2, %</i>
70 кГц	0,043
80 кГц	0,057
90 кГц	0,062
100 кГц	0,076
200 кГц	0,086
300 кГц	0,094
400 кГц	0,108
500 кГц	0,116
600 кГц	0,126
700 кГц	0,172
800 кГц	0,196
900 кГц	0,288
1 МГц	0,315
2 МГц	0,369
3 МГц	0,477

Приложение Д

(обязательное)

Раздел, выполненный на иностранном языке

Simulation of digital devices

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ю.В. Никулина		

Консультант ОАР школы ИШИТР

Должность	ФИО	Учена степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Ю.К. Рыбин	д.т.н., профессор		

Консультант – лингвист ОИЯ школы ШБИП

Должность	ФИО	Учена степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	И.Н. Кузнецова			

1 Simulation of digital devices

Digital devices represent difficult electronic system containing digital and analog devices.

Usually computer modeling is understood as the full range of issues related to the device model preparation and its use in calculation, analysis and optimization procedures [2, 3, 4].

Now computer modeling is the most important part of electronic devices design process. It's explained by the following reasons:

- the necessity to reduce the development time of new electronic devices;
- the availability of effective algorithms and programs for electrical circuits computer simulation;
- the developed theory of mathematical modeling of electronic components.

1.1 Software packages for electronic simulation

Modern electronic circuits simulation programs represent virtual laboratory that includes extensive library of electronic components. They allow an engineer to check whether the designed device meets the technical task requirements, when real components with characteristics different from ideal ones are used. Many programs allow to automate all stages of electronic devices design, including preparation of schematic circuit, modeling of processes in analog and digital circuits, configuration and tracing of printed circuit boards, editing and expansion of component libraries.

Circuit simulation programs are widely used for automation of the design of integrated circuits, as physical simulation of integrated circuits is associated with high material costs.

Now, there are many software packages for modeling digital devices, signal generators in particular, for example: Electronics Workbench, CircuitMaker, NI Multisim, Proteus, OrCad, Micro-Cap and many other programs. It's necessary to

distinguish between software packages designed for modeling electronic circuits and software packages for designing printed circuit boards.

For development of signal generator «Gabarit G3» virtual model it is necessary to choose the most optimal software package that contains extensive database of components, has high simulation accuracy and a wide range of possibilities.

1.1.1 Electronic Workbench

Circuit simulation system Electronic Workbench (EWB) is a software package for electrical circuit simulation and analysis.

EWB can analyze circuits on direct and alternating currents. Direct current analysis determines circuit's operating point in a steady-state mode. Results of this analysis are not reflected on devices and used for further scheme analysis. Alternating current analysis uses direct current analysis results for producing of linearized models of nonlinear components. Circuits analysis in alternating current mode can be carried out both in time and frequency areas.

EWB gets also possible to research transients processes when exposed to input circuits of various shapes. The program allows to analyze digital-analog and digital circuits of great complexity. The program libraries include a large set of widespread electronic components. It is possible to connect and create new component libraries.

A wide range of devices allows to measure different values, set input effects, build graphs. All devices are represented in a form as close as possible to the real, so it is simple and convenient to work with them. The program allows to place scheme in such a way that all elements connections and the whole scheme are clearly visible at the same time.

Simulation results can be printed or imported into a text or graphic editor for further processing.

EWB program is compatible with P-SPICE program, i.e. provides the ability to export and import schemes and measurement results in its various versions.

The program uses the standard Windows interface, that makes it much easier to use.

Component libraries include passive elements, transistors, operated sources, operated keys, hybrid elements, indicators, logic gates, trigger devices, digital and analog elements, special combination and serial circuits. Active elements can be represented by models of both ideal and real elements. Also it's possible to create own element models and add them to element libraries.

The program uses large set of instruments for measurements: ampermeter, voltmeter, oscilloscope, multimeter, body-plotter (graph builder of schemes frequency characteristics), functional generator, word generator, logic analyzer and logic converter.

EWB allows to build circuits of various complexity degrees using the following operations:

- choice of elements and devices from libraries;
- moving elements and diagrams to any place of working field;
- rotate elements and groups of elements to angles that are multiples of 90° ;
- copy, paste or delete elements, groups of elements, fragments of diagrams and entire schemes;
- change color of conductors;
- coloring of contour scheme for more convenience;
- simultaneous connection of several measuring devices and monitoring of their indications on monitor screen;
- assigning symbol to element;
- change parameters of elements in wide range [5].

1.1.2 Micro- Cap

Micro- Capis developed by Spectrum Software. The program has convenient graphic editor that allows to create and edit schematic circuit of analog and digital devices. The main types of analysis:

- calculation of static mode by direct current;
- calculation of frequency characteristics of linearized circuit;
- calculation of reaction in time domain with any input influences;
- noise and parametric sensitivity analysis;
- multivariate analysis, including statistical Monte Carlo analysis;

The program has an extensive library of component models from leading companies in the US, Europe, and Japan.

1.1.2 Proteus

Proteus Design Suite is a software package for computer-aided design of electronic circuits. Proteus is developed by Labcenter Electronics (UK).

The package represents circuit simulation system based on models of electronic components adopted in PSpice. A distinctive feature of Proteus package is the ability to simulate operation of programmable devices: microcontrollers, microprocessors and etc. The components library contains the reference data. In addition, the design system of printed circuit boards is included in Proteus package.

Proteus package consists of two parts, two subprograms: ISIS (a program of synthesis and modeling of electronic circuits) and ARES (a program of printed circuit boards development). A set of demonstration projects is installed with the program.

Proteus includes more than 6,000 electronic components with all reference data, as well as demonstration acquaintance projects.

The program has USBCONN and COMPIM tools that allow to connect a virtual device with computer's USB and COM ports. When any external device is connected with these ports, a virtual circuit will work with it as if it existed in reality.

Proteus supports the following compilers: CodeVisionAVR and WinAVR (AVR), ICC (AVR, ARM7, Motorola), HiTECH (8051, PIC Microchip) and Keil (8051, ARM).

1.1.4 OrCad

OrCAD Capture combines an intuitive interface with the tools and functionality that is necessary for fast solution of circuit design problems.

For large and complex projects creation and editing, OrCAD Capture supports multi-page and hierarchical connections. The powerful verification means of these connections allow to track possible violations of the design rules. OrCAD Capture is closely linked with the printed circuit boards editor and the analog-digital simulation of schematic circuit program.

Direct and feedback OrCAD Capture with PCB Editor allows to synchronize the data between schematic circuit and printed circuit board through mechanisms of cross allocation and component placement and automatic modification of printed circuit board on changes in scheme.

Electronic components database management systems a central part of OrCAD Capture. It automatically synchronizes and verifies components data in external databases and the project database. Options implement an interface with any database that meets the Microsoft's ODBC standard. Due to the fast access, easy search and ability to insert components into the project directly from an external database, time of printed circuit board development is considerably reduced. Components can be searched according to their electric and physical characteristics and also data of manufacturer.

The component addition directly from the manufacturer's database minimizes the number of possible mistakes in the specification and elements list, and also allows to check the elements for compliance with industry standards such as RoHS or WEEE.

1.1.5 CircuitMaker

Software package is intended for simulation of analog, digital and analog-digital devices. It has convenient graphical interface that allows to prepare electrical circuits of analog and digital devices quickly. The simulation results are displayed in a graphical form, in the form of oscillograms and graphs of frequency characteristics.

CircuitMaker provides graphical input of schematic circuit and their modeling, development of printed circuit boards is produced by means of included TraxMaker software package or external programs such as PADS, p CAD, Protel, etc.

The schematic editor has the following features:

- creation of scheme standard electronic components symbols and non-standard macro model elements created by users;
- convenient means for parameters change of signal sources and other components;
- simulation means of malfunctions (short circuit of contacts, circuit break, incorrect component values, etc.);
- scheme connection lists are presented in Thomach, Protel, Tango (used in P CAD for Windows) and OrCAD formats;

Simulation program uses extended version of SPICE 3F5 algorithm for analog devices simulation and XSPICE algorithm for analog-digital devices simulation. Also models and macromodels of analog components in the SPICE format, developed by manufacturers of electronic components and published on the Internet, are fully supported (for digital components this practice is less common).

CircuitMaker has built-in models for semiconductor devices electronic lamps, indicators, keys, elements primitives of digital logic, digital integrated circuits, linear analog integrated circuits, voltage regulators, delay lines, transmission lines, devices perform mathematical operations, sources of analog and digital signals, virtual tools

(oscilloscope, meters, frequency characteristics, digital multimeters, logic analyzers, signal). The model library contains models of 4000 components.

CircuitMaker realizes the standard types of analysis: calculation of mode of nonlinear circuits by direct current and transfer characteristics in mode of direct current, calculation of frequency characteristics and transient process, including calculation of spectra, realizes simultaneous variation of two parameters. The possibility of display current simulation results is provided. For analog devices currents, voltage and other characteristics are calculated, for digital the time diagrams of logical states are calculated. There is a post-processor of simulation results processing.

The printed circuit boards editor has the following features:

- printed circuit boards have 8 electrical layers (6 signal and 2 metallization layers);
- English and metric system units supported;
- board size limit is 32x32 inch;
- components with pin and with planar conclusions are supported;
- the cases database contains 2000 components;
- project scheme connection lists are loaded in TraxMaker, Protel, Tango, PADS, and OrCAD formats;
- automatic component placement and grid-type tracing tools are available;
- Gerber files are created in RS274 (D and X) format and control files for drilling machines;
- creation of reports about the project, and data for equipment of automatic mounting of components.

1.1.6 Multisim

The software package Multisim by Electronics Workbench, that is included into National Instruments Corporation now, allows to build and analyze any electronic circuits: analog, digital-analog and digital. Multisim program is quite easy

to learn and easy to use. It is important that the latest versions of Multisim make it possible to simulate programmable digital devices based on 8-bit microcontrollers with the core of MCS-51 and PIC-16 by Microchip, since compilers from C language and Assembler contains in part of software[6].

NI Multisim allows to combine development of electronic devices for interactive SPICE-modeling and analysis of electrical circuits used in circuit engineering, printed circuit boards design and complex testing based on virtual devices for education and production purposes. This platform connects testing and design processes, giving o electronic equipment developer flexibility opportunities of virtual instrument technology. If more complex analysis is necessary Multisim offers more than 15 different analysis functions. Some examples include the use of alternating current, the analysis of most adverse conditions and the Fourier analysis. Multisim includes Grapher. It is a powerful tool for viewing and analysis of emulation data.

The combined use of software package for electric circuits simulation Multisim by National Instruments with system development environment of measuring system LabVIEW allows to compare theoretical data with real data directly in the process of creating conventional printed circuit board, that reduces number of design iterations, number of mistakes in prototypes.

Multisim can be used for interactive creation of schematic circuit and simulate their operating modes. Multisim makes basis of platform for education in electrical engineering of National Instruments company, that includes prototype NI ELVIS and NI LabVIEW workstation.

The components database includes more than 1,200 SPICE models of elements from leading manufacturers such as Analog Devices, Linear Technology and Texas Instruments, and also more than 100 new models of switch power supplies. In addition, there is an assistant Convergence Assistant in the new version of software package that automatically corrects SPICE parameters and mistakes.